



UNIVERSIDADE DO VALE DO TAQUARI
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**TÉCNICA DE BIOENGENHARIA DE SOLOS APLICADA NA
REMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR EROSÃO HÍDRICA
NO ARROIO TAMANDUÁ EM MARQUES DE SOUZA/RS**

Marcell Guilherme Braun

Lajeado, junho de 2018.

Marcell Guilherme Braun

**TÉCNICA DE BIOENGENHARIA DE SOLOS APLICADA NA
REMEDIAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS POR EROSÃO HÍDRICA
NO ARROIO TAMANDUÁ EM MARQUES DE SOUZA/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso etapa II
apresentado para a formação específica em
Engenharia Ambiental, da Universidade do
Vale do Taquari, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Flávio Aguiar Folletto

Lajeado, junho de 2018.

RESUMO

A erosão fluvial é resultado da dinâmica natural existente em todos os cursos da água, devido a constante adaptação. No decorrer deste sistema a relação entre o escoamento permanente e as margens resultam em frequentes e significativas modificações. Essas remodelagens traduzem-se, em um aumento das forças que atuam sobre a calha do leito, provocando erosão no momento em que o acréscimo de tensão ultrapassa a resistência do solo. Neste contexto, o presente estudo tem por objetivo avaliar os cenários de degradação nas margens do arroio Tamanduá, situado no município de Marques de Souza/RS. A partir de um diagnóstico preliminar, baseado nos aspectos fisiográficos da Bacia Hidrográfica, pretende-se ainda, propor técnicas de bioengenharia de solos, assim como, conhecer os custos de diferentes metodologias. Para alcançar os objetivos propostos, foram avaliados e extraído dados da cartografia vetorial existente, servindo de base para o conhecimento de parâmetros morfológicos. A coleta de dados *in loco*, possibilitou a avaliação da atual situação das margens, bem como identificar cenários críticos e valorar os custos de implantação. A contextualização dos objetivos, aliado aos critérios propostos, resultaram na identificação de três áreas, significativamente atingidas por erosão hídrica, as quais integraram a avaliação para implantação de técnicas de bioengenharia de solos. A metodologia indicada, neste caso, foi o enrocamento, devido eficiência e a confiabilidade estrutural, relacionada ao contexto atual das margens, a necessidade de contenção permanente e a viabilidade econômica. A técnica proposta poderá contribuir na remediação de danos ambientais, sociais e econômicos causados por erosão hídrica, assim como, estabilizar os processos erosivos.

Palavras-chave: Erosão Hídrica, Bioengenharia de Solos, Remediação.

ABSTRACT

River erosion is a result of the natural dynamics in all watercourses, due to constant adaptation. Throughout this system, the relationship between the permanent flow and the margins, result in frequent and significant changes. These remodelings translate into an increase in the forces acting on the bed channel, causing erosion, at the moment that the increase of tension exceeds the resistance of the soil. In this context, the present study aims to evaluate the degradation scenarios on the banks of the Tamanduá stream, located in the municipality of Marques de Souza / RS. From a preliminary diagnosis, based on the physiographic aspects of the Hydrographic Basin, it is also proposed to propose techniques of bioengineering of soils, as well as to know the costs of different methodologies. In order to reach the proposed objectives, we evaluated and extracted data from the existing vector cartography, serving as the basis for the knowledge of morphological parameters. On-site data collection enabled the evaluation of the current margins situation, as well as identifying critical scenarios and assessing the implementation costs. The contextualization of the objectives, together with the proposed criteria, resulted in the identification of three areas, significantly affected by water erosion, which integrated the evaluation for the implantation of soil bioengineering techniques. The methodology indicated, in this case, was rockfill, due to efficiency and structural reliability, related to the current context of the margins, the need for permanent containment and economic viability. The proposed technique may contribute to the remediation of environmental, social and economic damages caused by water erosion, as well as to stabilize the erosive processes.

Keywords: Water Erosion, Soil Bioengineering, Remediation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Alguns padrões geométricos de drenagem.....	21
Figura 2. Verificação do fator de forma de duas bacias hidrográficas respectivamente.	24
Figura 3. Tipos de canais.	25
Figura 4. Diferentes tipos de leito.....	27
Figura 5. Mudança das formas de um recurso hídrico ao longo de seu perfil longitudinal.	30
Figura 6. Diferenciação da velocidade em uma seção transversal de um recurso hídrico.	31
Figura 7. Relação da velocidade de um curso de água na vertical.	32
Figura 8. Distribuição das velocidades da água em função da geometria da seção transversal do canal, mantidas a inclinação geral, as constantes e a rugosidade. ...	33
Figura 9. Divisão da água em trechos de um curso meandrante.	33
Figura 10. Desenvolvimento de um trecho curvo, até o paleomeandro.	34
Figura 11. Forma de deslizamento planar e circular.	36
Figura 12. Deslizamento em cunha.....	36
Figura 13. (a) demonstra o processo de solapamento e (b) os riscos ligados às infraestruturas.	37
Figura 14. Largura das apps no entorno dos cursos hídricos de acordo com sua largura.	40

Figura 15. Consequências na estabilidade de um talude com a presença de uma árvore.	41
Figura 16. Visão dos escoamentos em áreas desprovidas de vegetação.....	43
Figura 17. Definição do melhor método a ser aplicado em função da inclinação.....	46
Figura 18. Divisão da margem de recursos hídricos em zonas.....	48
Figura 19. Matriz de avaliação força/curto.	49
Figura 20. Esquematisação do enrocamento vegetado.	51
Figura 21. Linhas de vetiver em perfilhamento na fazenda guarará, santana dos montes-mg.	53
Figura 22. Exemplar de capim vetiver com 2 anos de idade mostrando seu sistema de raízes.....	54
Figura 23. Bobinas de biomantas, produzidas através de palha agrícola e fibra de coco.....	56
Figura 24. Biomanta sendo aplicada em talude de corte.	57
Figura 25. Talude com biomantas antierosivas já aplicadas.	57
Figura 26. Vista em planta e corte da aplicação da técnica de paliçadas de madeira.	59
Figura 27. Compactação manual de solo diretamente no talude.	60
Figura 28. Solo envelopado com utilização de biomanta e estacas vivas.....	61
Figura 29. Utilização de madeira e estacas vivas para revitalização de solo – rio das velhas, santa luzia – mg.....	62
Figura 30. Vista frontal da construção da parede de krainer, com ênfase para a nomenclatura “gavetas” – que corresponde a área onde são anexados os feixes vivos.	63
Figura 31. Corte transversal da parede de krainer simples.....	64
Figura 32. Vista tridimensional da construção da parede de krainer.....	64
Figura 33. Corte transversal da parede de krainer dupla.	65
Figura 34. Balança que determina o nível de estabilidade das obras biotécnicas. ...	67

Figura 35. Organização metodológica por etapas.....	71
Figura 36. Equipamentos utilizados.	75
Figura 37. Delimitação da microbacia do arroio tamanduá, leito e tributários.	81
Figura 38. Rede de drenagem e bacia hidrográfica de arroio guarda-mor.....	83
Figura 39. Enrocamento aplicado no baixo rio são francisco apresentando revegetação natural.....	86
Figura 40. Margem do arroio tamanduá apresentando processo de solapamento. ..	87
Figura 41. Composição da margem no ponto 1 do arroio tamanduá.	88
Figura 42 e Figura 43. Localização e situação da área 1.....	90
Figura 44 e Figura 45. Estrada vicinal e talude com ângulo de 82°.	90
Figura 46 e Figura 47. Identificação do ponto 2 necessitando de intervenção física.	91
Figura 48 e Figura 49 . Talude com angulação de 90° e o processo de solapamento.	92
Figura 50 e Figura 51. Localização do ponto 3 necessitando da intervenção.	93
Figura 52 e Figura 53. Matacões disposto sobre o leito do arroio tamanduá.....	95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Divisão dos padrões fluviais em função do índice de sinuosidade.	26
Tabela 2. Métodos e bibliografia aplicados na primeira etapa.....	72
Tabela 3. Métodos e bibliografia aplicados a segunda etapa.....	74
Tabela 4. Técnicas e aplicações de bioengenharia de solos.	74
Tabela 5. Critérios avaliativos das áreas de intervenção.	76
Tabela 6. Métodos e bibliografia aplicados.	77
Tabela 7. Tabela de custos de materiais, equipamentos e mão de obra.	78
Tabela 8. Métodos e bibliografia aplicados a quarta etapa.	79
Tabela 9. Parâmetros fisiográficos da micro-bacia do arroio tamanduá.....	81
Tabela 10. Resultados segundo os índices aplicados.....	82
Tabela 11. Resultados das áreas com maior pontuação.	89
Tabela 12. Resultados dos dados coletados e calculados.....	94
Tabela 13. Critérios balizadores para escolha da metodologia.....	96
Tabela 14. Tabela de custos de materiais, equipamentos e mão de obra.	98
Tabela 15. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para área 1.	99
Tabela 16. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para área 2.	99
Tabela 17. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para área 3.	100

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Área
APP	Área de Preservação Permanente
B	Dimensão do maior bloco
DLT	Dimensão Limite de Transporte
I	Inclinação do terreno
Ic	Índice de circularidade
Ic	Índice de conformação
Is	Índice de sinuosidade
K	Coeficiente de rugosidade
Kc	Coeficiente de compacidade
Kf	Fator de forma
Kg	Índice de Gravelius
L	Comprimento do eixo da bacia
P	Perímetro
PRCE	Produtos em Rolo para Controle de Erosão
R	Raio hidráulico
RSP	Rock Slope Protection
V	Velocidade média

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Equação da densidade de rede de drenagem	22
Equação 2. Equação do coeficiente de compacidade.....	22
Equação 3. Equação do fator de forma.....	23
Equação 4. Equação do índice de circularidade	24
Equação 5. Equação da velocidade média de escoamento.....	66
Equação 6. Equação de dimensão do bloco	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Objetivos Gerais.....	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Bacia Hidrográfica	18
3.1.1 Processos fluviais	19
3.1.2 Rede de drenagem	20
3.1.3 Canal	25
3.1.4 Leito	27
3.1.5 Velocidade da água	30
3.1.6 Deslocamentos de Sedimentos	34
3.2 Vegetação Ciliar	37
3.2.1 Consequências da Mata Ciliar sobre as Margens Hídricas	40
3.3 Bioengenharia de Solos	43
3.3.1 Enrocamento de Pedras (<i>Rip Rap</i>).....	49
3.3.2 Enrocamento com vegetação	51
3.3.3 Vegetação.....	52
3.3.4 Capim Vetiver	52

3.3.5 Geossintéticos	54
3.3.6 Paliçadas de madeira	58
3.3.7 Envelopamento.....	59
3.3.8 Madeira e estacas vivas	61
3.3.9 Parede de Krainer.....	63
3.4 Dimensionamento de estruturas biotécnicas.....	65
3.5 Gerenciamento dos custos de uma obra de engenharia.....	68
4 METODOLOGIA	70
4.1 Diagnosticando a Bacia Hidrográfica o Arroio Tamanduá.....	71
4.2 Técnicas de bioengenharia de solos	73
4.3 Técnicas de intervenção	75
4.4 Viabilidade de implantação de obras de bioengenharia	78
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	80
6 CONCLUSÃO	102
REFERÊNCIAS.....	104

1 INTRODUÇÃO

A definição de Bacia Hidrográfica cada vez mais tem sido utilizada como unidade de controle da paisagem no que diz respeito à gestão ambiental territorial. No aspecto de uma avaliação hidrológica, a definição de Bacia Hidrográfica engloba um aglomerado de terras escoadas por um curso hídrico principal e seus afluentes. Esta região ou Bacia representa a combinação mais adequada para uma avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos e de suas correntes de sedimentos e nutrientes (PIRES; SANTOS; DEL PRETTE, 2002).

Para cada segmento de rio, será formada uma micro-bacia hidrográfica. Considerando essas características, a Bacia é a área total, que por gravidade, contribui para que os rios cheguem à seção que definirá a Bacia. A topografia da superfície é quem definirá esta área, entretanto, a geologia da camada inferior do solo pode fazer com que uma parcela do escoamento que infiltra no solo, transcorra para fora da área superficialmente delimitada. Este desacordo pode ter significativa relevância para Bacias pequenas e para as formações geológicas em particular (TUCCI; MENDES, 2006).

Para Durlo; Sutili (2005), a Bacia Hidrográfica é responsável pela modelagem do relevo, exercendo grande importância na composição e estruturação paisagística da terra. A água que escoar, através de suas vertentes, está interligada a fenômenos hidrogeológicos e corresponde diretamente a processos erosivos, influenciando na estabilidade de taludes e margens fluviais. Os autores salientam

ainda, a correlação ativa, entre a degradação natural e aspectos econômicos, ecológicos e sociais.

Para Oliveira et. al (2008), a percepção e o funcionamento de um sistema de drenagem, dependem do conhecimento e da análise morfométrica das bacias hidrográficas. Este procedimento consiste basicamente, na averiguação de valores numéricos, assim como, índices de vários atributos da bacia.

Castro (2003) considera parâmetros como, densidade de drenagem, índice de circularidade, coeficiente de compacidade e forma da bacia, dentre outros, como características morfométricas fundamentais do ponto de vista quantitativo, para análise fisiográficas. Ademais, tais parâmetros, podem ainda, elucidar indicadores físicos peculiares regionais, de maneira que, possam responder as alterações ambientais do local.

Segundo Silveira (1993), os parâmetros morfológicos, de uma bacia Hidrográfica, tais como, comprimento do leito principal, área total, declividade, forma, entre outros, são elementos que compõem a fisionomia de um recurso hídrico. Essas características representam padrões fluviais do ponto de vista físico e podem ser observadas e medidas em trabalho de campo ou adquiridas através de imagens de satélite, mapas ou fotografias aéreas. Ademais, se torna imprescindível o reconhecimento de alguns destes elementos para um melhor entendimento dos processos fluviais e assim poder adotar as melhores técnicas de estabilização e correção dos taludes (DURLO; SUTILI, 2012).

Além dos fatores físicos, elementos integrantes do meio Biótico podem inferir padrões ambientais a conformação de rios. As matas ciliares, por exemplo, exercem a função de proteção dos solos contra a erosão, proporcionando a estabilidade de taludes através das raízes que formam uma malha densa, atuando assim, como fator de estabilidade das margens (MARTINS, 2007).

A mata ciliar se diferencia pelas inúmeras técnicas que podem ser adaptadas para a contenção de algumas atividades hídricas, principalmente na estabilização de taludes (SUTILI, 2004). De uma forma mais ampla, a vegetação produz alguns efeitos sobre as margens, que são: o barramento das águas da chuva, elevação da evapotranspiração, ancoragem do talude, adiciona peso, produz

um efeito de alavanca sobre o talude e cobrem o terreno com a serapilheira existente na superfície (DURLO; SUTILI, 2005).

Para Araujo; Almeida; Guerra (2011), a vegetação ciliar oferece estabilidade das encostas e taludes dos recursos hídricos. Na grande maioria das vezes exerce uma influência favorável, porém, pode adotar uma atividade adversa, dependendo da sua ausência ou porte, contribuindo desta forma, para vulnerabilidade do meio e consequentemente a qualidade do ambiente. Levando em consideração estes aspectos, a bioengenharia de solos e as práticas de biotecnica podem ser analisadas como processos e estratégias para aumentar os benefícios da vegetação e diminuir seu prejuízo.

Segundo Li, Eddleman (2002), as técnicas de engenharia tradicionais, além de ocasionarem a perda da funcionalidade ecológica de um sistema fluvial, também costumam repassar para outras áreas do trecho os problemas relacionados aos processos de erosão. Os métodos utilizados atualmente costumam trabalhar diretamente na solução dos problemas específicos de cada área, sem levar em consideração o que determinada atividade ocasionará a partir da intervenção realizada.

Couto (2010), destaca que nessas circunstâncias, como solução aos eventos citados, é possível de serem utilizadas técnicas mais conhecidas como bioengenharia de solos. O princípio básico, trata da utilização de materiais considerados inertes, como madeira, concreto, aço e fibras sintéticas em conexão com as partes biológicas, como a vegetação, por exemplo, no controle de processos erosivos. Estas técnicas de bioengenharia de solos já haviam sido utilizadas para o controle de erosões em margens e taludes de rios, em diversas partes do mundo, mais principalmente pelo Império Romano.

Sutili (2004), salienta que além da solução da problemática, deve-se levar em consideração os fatores econômicos, estéticos e ecológicos. Desta maneira, procura-se manter a morfologia do curso original, com perfis transversais e meandros assimétricos, e se indica a criação ou a preservação dos habitats naturais da fauna e da flora. Na grande maioria das vezes, somente a evolução da vegetação

em taludes fluviais se torna praticamente impossível em virtude dos efeitos dos deslizamentos e da corrosão.

Neste cenário, o presente estudo objetivou conhecer os parâmetros fisiográficos e índices morfométricos da micro-bacia do Arroio Tamanduá, afluente do rio Forqueta na bacia Taquari-Antas. A partir desta análise, foram verificados locais com maior incidência de processos erosivos *in loco*, propondo a técnica de bioengenharia de solos aplicável às condições locais bem como, avaliando o seu custo de implantação através de pesquisa de valores de materiais, equipamentos e mão de obra em empresas locais/regionais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O objetivo principal deste estudo é conhecer a morfologia do arroio Tamanduá, localizado no município de Marques de Souza/RS, avaliar a conjuntura de degradação ocasionada por erosão hídrica das suas margens, identificando pontos que podem ser remediados através de técnicas de bioengenharia de solos, bem como indicar a melhor forma de intervenção para assim avaliar o seu custo de implantação.

2.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal deste estudo, faz-se necessária a divisão e o conhecimento dos objetivos específicos, que estão descritos abaixo:

- Definir e avaliar os parâmetros morfológicos que compõem a fisiografia fluvial do arroio Tamanduá;
- Conhecer técnicas e aplicações de bioengenharia de solos empregadas para estabilização de margens de recursos hídricos;
- Propor técnica de biorremediação que melhor se enquadra s condições das margens do arroio Tamanduá;
- Avaliar a viabilidade de implantação de obras de bioengenharia, aplicada a estes conceitos;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta etapa do estudo será retratado o referencial teórico relacionado ao tema de técnicas de bioengenharia de solos aplicadas na remediação de margens de rios e arroios. Inicialmente serão tratados os aspectos morfológicos e fisiográficos de uma bacia hidrográfica. Na sequência, são apresentadas técnicas de bioengenharia de solos aplicadas na estabilização das margens, e por final são demonstrados processos de gestão e avaliação de custos de implantação e durabilidade destas obras de engenharia natural.

3.1 Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica é um dos elementos externos que modelam o relevo e possui grande importância na composição e construção paisagística da terra. A água que nela escoa, está interligada aos fenômenos de processos erosivos e possui influência decisiva sobre a estabilidade de taludes e margens fluviais. Através do escoamento das águas pelos seus cursos, é onde se resultam os processos fluviais que exercem seguida formulação dos relevos e se correlacionam, de forma muito ativa, nos pontos econômicos, ecológicos e sociais (DURLO; SUTILI, 2005).

No escoamento de um recurso hídrico, ao passo em que a velocidade da água aumenta, ultrapassando a velocidade crítica, ela acaba adquirindo um comportamento agressivo que como consequência, acaba contribuindo na aceleração dinâmica do processo de uma rede de drenagem, acarretando em sérios prejuízos de âmbito ambiental e econômico, necessitando de uma atenção em especial, pois também pode ocasionar a perda de vidas humanas (DURLO; SUTILI, 2005).

Através do conhecimento de diversos autores, como Thiéry (1891), Strela (1934), Mayer (1941) e Aulitzky, Fiebiger e Diera (1990), é possível analisar dois tipos de correntes de água: as de montanha e as de planície. As primeiras têm por características as cheias rápidas e violentas, isto porque possuem um irregular e acentuado declive e pela capacidade de carregar uma elevada quantidade de material com maior granulometria (materiais mais grosseiros). Por outro lado, as correntes de água de planície, são caracterizadas por percorrerem áreas com menor declive e por possuírem um canal meândrico com processos erosivos nos setores externos e deposição nos setores internos de suas curvas. Nem sempre um curso de água pode apresentar turbulentas descargas de água, este fenômeno pode ser assumido quando houver elevados índices e intensidades de precipitação em determinados períodos do ano. Em contra partida, um mesmo recurso hídrico, pode apresentar simultaneamente um comportamento de planície e de montanha em diversos trechos do seu seguimento.

A bacia hidrográfica existirá para cada segmento de um rio. Considerando estes segmentos, a bacia é a área total que por gravidade contribui para que os rios cheguem a seção que definirá a bacia. A topografia da superfície é quem definirá esta área, entretanto, a geologia da camada inferior do solo pode fazer com que uma parcela do escoamento que infiltra dentro do solo transcorra para fora da área superficialmente delimitada. Este desacordo pode ter significativa relevância para bacias pequenas e para as formações geológicas em particular (TUCCI; MENDES, 2006).

3.1.1 Processos fluviais

Segundo Durlo e Sutili (2005), o comportamento do fluxo de um corpo da água está relacionado diretamente com a movimentação de corpos sólidos através da água. Em contra partida, enquanto o fluxo for normal, esta movimentação pode ser expressa na forma de erosões e transportes considerados normais. Por outro lado, quando houver maiores vazões, ocorrerá o transporte de grandes quantidades de materiais, ocasionando deslizamentos e desmoronamentos em grandes magnitudes, provocando sérios problemas ecológicos e tornando-se, economicamente prejudiciais e socialmente perigosos. Como consequências, as

deposições de materiais em áreas indesejadas são comuns, causando entupimentos de calhas naturais ou escoadouros artificiais, acarretando em diversos danos ao meio ambiente e a economia.

Os parâmetros morfológicos, como comprimentos, áreas, declividade, índices e padrões, são elementos que compõem a fisionomia de um recurso hídrico, estes elementos representam as características fluviais do ponto de vista físico e podem ser vistas e medidas em trabalho de campo ou adquiridas através de imagens de satélite, mapas ou fotografias aéreas. (SILVEIRA, 1993).

É importante o reconhecimento de alguns destes elementos para um melhor entendimento dos processos fluviais e assim poder adotar as melhores técnicas de estabilização e correção dos taludes (DURLO; SUTILI, 2012).

A fisiografia fluvial, de forma simples, pode ser analisada através dos seguintes pontos de vista, rede de drenagem, de canal e de leito (CUNHA, 2001). Todavia, o perfil longitudinal do leito deve merecer maior destaque, em virtude da sua importância para o entendimento dos processos que interessam no manejo biotécnico dos recursos hídricos.

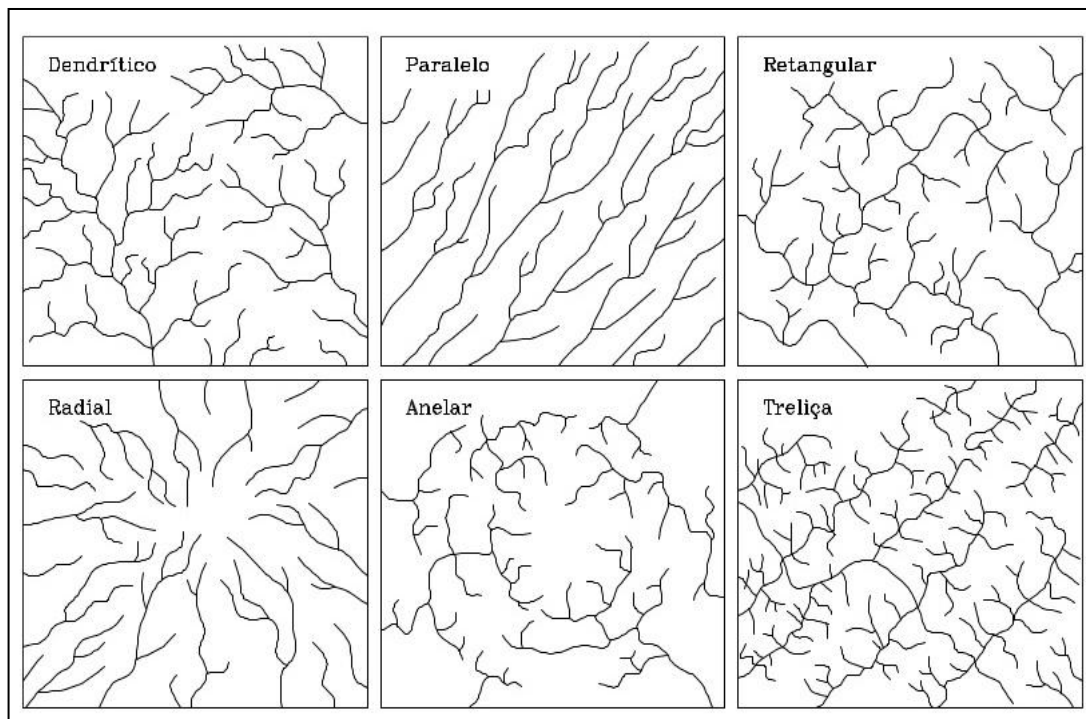
3.1.2 Rede de drenagem

O nome rede de drenagem fluvial se dá a um grupo de canais que se interligam, todos sendo escoados para uma mesma direção. O terreno drenado por esse conjunto de canais é denominado de bacia de drenagem ou bacia hidrográfica (DURLO; SUTILI, 2005). Na ideia proposta por Netto (2001), um terreno de superfície terrestre que drena água, materiais dissolvidos e sedimentos para uma mesma saída, em certo ponto de um canal fluvial, representa uma bacia de drenagem.

Dependendo do tipo de escoamento, pode ser realizada a classificação das redes de drenagem em exorreicas, quando ela se direciona ao mar, e em endorreicas, quando a drenagem se direciona a uma depressão interna do continente (DURLO; SUTILI, 2005).

Analisando a geometria de classificação dos padrões de canais de uma drenagem, a mesma pode apresentar os seguintes modelos fundamentais: dendrítico, paralelo, retangular, radial, anelar, treliça e irregular (**Figura1**) (DURLO; SUTILI, 2005).

Figura 1. Alguns padrões geométricos de drenagem.



Fonte: Christofolletti (1980).

Segundo Durlo e Sutili (2005), é de grande importância saber a densidade de uma rede de drenagem, esta é obtida através da relação entre o somatório do comprimento dos cursos de água e a área da bacia hidrográfica, não esquecendo também do padrão de drenagem, utilizado para a comparação entre as diversas formas de bacias (**Equação 1**) (DURLO; SUTILI, 2005). Com base nessas informações, Carvalho e Silva (2006) consideram bacias com drenagem pobre com $Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$; drenagem regular com $0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$; drenagem boa com $1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$; drenagem muito boa com $2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$ e excepcionalmente bem drenadas com $Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$.

Equação 1. Equação da Densidade de Rede de Drenagem

$$DD = \frac{L}{A} \quad (1)$$

Sendo:

DD = densidade de drenagem (Km/Km²);

L = comprimento total de todos os canais (Km); e

A = área da bacia hidrográfica (Km²);

Referente à rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, devemos também levar em consideração os dados que representam a vulnerabilidade de ocorrência de cheias neste corpo hídrico, que pode ser verificado através de determinados coeficientes, um deles é o Índice de Gravelius (Kg) ou Coeficiente de compacidade (Kc), que compara a forma circular com a bacia hidrográfica, outro coeficiente é o Índice de conformação (Ic) ou Fator de forma (Kf), que compara as características da bacia hidrográfica com a forma de um retângulo e analisa o grau de extensão da bacia e o Índice de circularidade (Ic) (LIMA, 2008 apud FERREIRA; LIMA; CAVALCANTI; SANTOS, 2010). Através dos valores atingidos por estes coeficientes é possível averiguar se a bacia analisada possui uma maior ou menor sensibilidade a eventos de cheias.

Segundo Lima (2008) e Ferreira (2010), o Coeficiente de compacidade é obtido através da associação entre o perímetro e a área da bacia (**Equação 2**). A bacia será mais compacta e com maior tendência em produzir escoamentos rápidos quando este valor for próximo a 1, tendo como consequência uma susceptibilidade a enchentes acentuadas. Este número de coeficiente é adimensional, que modifica conforme a forma da bacia, independentemente do seu tamanho; quanto maior for o coeficiente de compacidade, maior será a irregularidade da bacia.

Equação 2. Equação do Coeficiente de Compacidade.

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Sendo:

Kc = coeficiente de compacidade;
 P = Perímetro da bacia (Km); e
 A = Área da bacia (Km²)

Em termos quantitativos, é importante frisar que o Fator de forma (Kf) é uma das características mais difíceis de ser analisada. Algumas outras características da bacia devem ser levadas em consideração, principalmente a geologia, pois esta pode influenciar na forma da bacia, bem como na forma da rede de drenagem. Além disto, a forma exerce função sobre a atividade hidrológica da bacia bem como de alguns eventos hidrológicos (LIMA 2008 apud FERREIRA; LIMA; CAVALCANTI; SANTOS, 2010). O fator de forma vincula a área da bacia e o comprimento axial do seu curso de água (**Equação 3**).

Equação 3. Equação do Fator de Forma

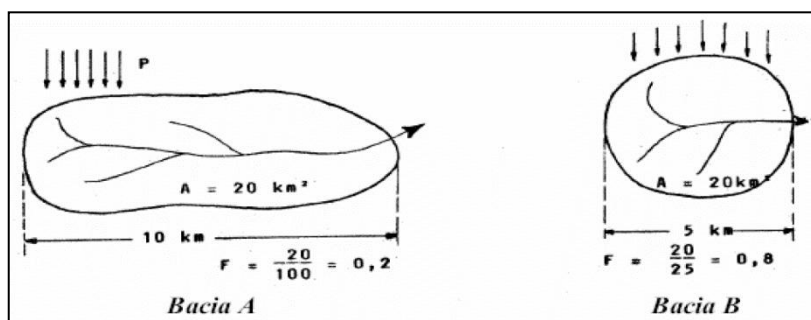
$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (3)$$

Sendo:

Kf = Fator de forma;
 A = Área da bacia (Km); e
 L = comprimentos do eixo da bacia (Km);

Esse índice mostra que uma bacia que possui o Kf baixo (maior comprimento do eixo), será menos suscetível a ocorrência de cheias que em outra com a mesma área, porém com Kf maior. Isto ocorre de fato, pois numa bacia delgada e longa (Kf baixo) há menos probabilidade de ocorrência de elevadas precipitações cobrindo igualmente todo o percurso da bacia, conforme ilustrado na **Figura 2**.

Figura 2. Verificação do fator de forma de duas bacias hidrográficas respectivamente.



Fonte: Lima (2008)

Miller propôs em 1953, posteriormente foi citado por Christofolletti (1980) e pelo Ferreira (2010), o Índice de circularidade (Ic), que tem como finalidade avaliar a circularidade de uma bacia hidrográfica. Neste contexto, se o valor do Ic for próximo a 1, significa que a bacia hidrográfica está mais próxima da forma circular. Este Índice de circularidade toma por conhecimento a área da bacia e o seu perímetro (**Equação 4**).

Equação 4. Equação do Índice de Circularidade

$$Ic = 12,57 \frac{A}{p^2} \quad (4)$$

Sendo:

A = Área da bacia (Km²); e

P = Perímetro (Km);

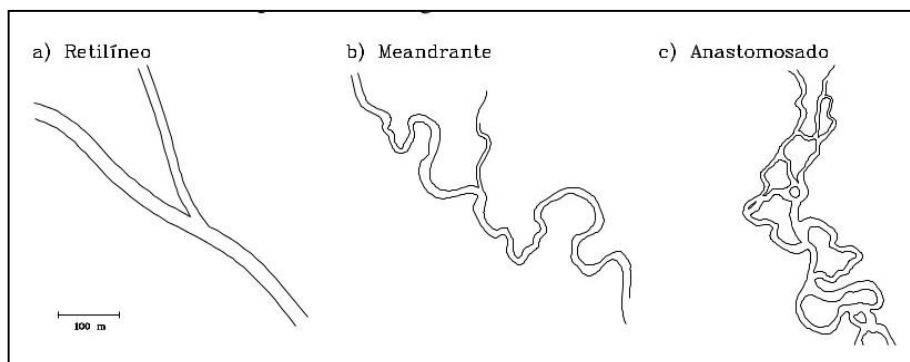
Segundo Reis (2011), a avaliação das ramificações e o estudo de uma rede de drenagem são relevantes para o entendimento de uma bacia hidrográfica, com esse conhecimento é possível verificar se a velocidade da água será alta ou baixa no momento em que esta for deixar a bacia hidrográfica. As características do rio é que irá propiciar as quantidades de volumes que cada área receberá. Relacionando as atividades naturais com as intervenções humanas, ambas estão associadas com a variação da qualidade e quantidade da água de um rio. Em um todo, estas

intervenções prejudicam completamente um ecossistema, como nos processos naturais (erosões) e hidrológicos (inundações e enchentes).

3.1.3 Canal

A fisionomia que um curso de água apresenta no decorrer do seu perfil longitudinal é apresentada como retilínea, meândrica ou anastomosada, formando o chamado canal (**Figura 3**).

Figura 3. Tipos de canais.



Fonte: Sutili (2004)

Essas formas se originam do ajuste do canal à sua seção transversal, procurando sempre uma configuração que esteja em equilíbrio com a sua dinâmica fluvial. Da mesma forma ocorre para a seção transversal, o modelo da estrutura física longitudinal que o canal assume também fica relacionado às características de cada segmento do curso hídrico, como por exemplo, as condições do escoamento, da vegetação e as propriedades geomorfológicas, podendo, essas três fisionomias serem demonstradas em pontos distintos de um mesmo rio, ou até mesmo haver uma certa combinação entre elas (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Segundo Schumm (1972), essa característica é principalmente estabelecida pelo tipo de carga de detritos, que equivale à quantidade e granulometria do sedimento que será carregado pelo curso hídrico em um determinado trecho. Com isso, a fisionomia de um curso de água pode se tornar bastante variável, tanto no espaço quanto no tempo. Os cursos de água em sua jusante possuem uma

tendência em adotar características meandantes, o que os torna as chamadas correntes de água de planície.

A observação visual parece ser bastante segura no momento em que for reconhecer o trecho de um rio com comportamento anastomosado. Segundo a ideia de Schumm (1972), a característica que diferencia um trecho como retilíneo ou meandrante pode ser mais simples. O autor leva em consideração que um trecho se caracteriza como meandrante quando este possuir um índice de sinuosidade (I_s) superior a 1,3, conforme **Tabela 1**. Este índice leva em consideração a relação entre o comprimento do canal e o comprimento do vale (CHRISTOFOLETTI, 1974, 1981). Saber a fisiografia do canal é muito relevante no momento em que se realiza o manejo do curso de água, em virtude de que é uma forma de indicar o comportamento processual que predomina no trecho.

Tabela 1. Divisão dos padrões fluviais em função do índice de Sinuosidade.

Tipos	Índice de Sinuosidade
A) Meandantes	
a) tortuosos	2,3
b) irregulares	1,8
c) regulares	1,7
B) Transicional	1,3
C) Retos	1,1

Fonte: Durlo e Sutilli(2005).

Os trechos denominados retilíneos e sinuosos são diferenciados através do índice de sinuosidade, podendo ser utilizado como forma de equiparação entre eles.

A classificação como perene, intermitente e efêmero é outro fator importante na classificação dos canais de água. Os perenes são os que independem das estações do ano, períodos ou precipitações para que ocorra escoamento. Já os trechos de água intermitentes possuem escoamento em algumas épocas do ano. E os canais efêmeros se caracterizam por apresentar escoamento somente em períodos de maiores índices pluviométricos, interrompendo seu fluxo pouco tempo após as chuvas (ALVES, 2007; MORAIS, PEDRO e ROSADO, 2009 E BRASIL, 2012). É importante a atenção para essa classificação, pois ela contribui na melhor

escolha e no melhor planejamento em uma intervenção em determinado curso da água.

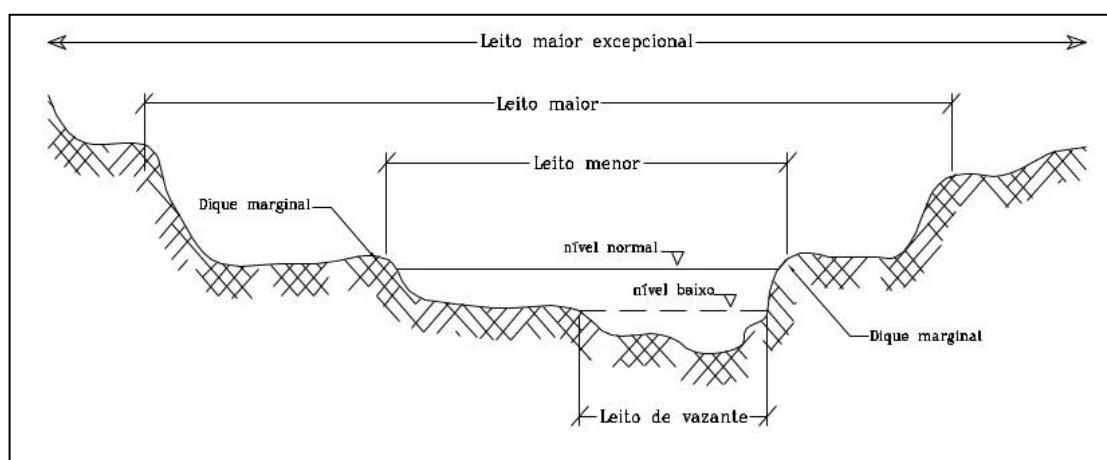
3.1.4 Leito

O local do sistema hídrico ocupado pela água que por ele escoar, e que pode ser variado ao longo do espaço e do tempo, é denominado de leito (DURLO; SUTILI, 2005).

3.1.4.1 Perfil transversal

O perfil transversal de um curso de água mostra as características de seu fundo e margem, em corte perpendicular a seu leito (DURLO; SUTILI, 2005). O leito de um rio varia conforme o volume e a frequência das descargas e de um setor a outro do mesmo recurso hídrico, por causa das particularidades existentes no trecho, principalmente a inclinação do leito (topografia). Um leito pode ser classificado conforme as indicações de Christofolletti (1981) e da Federal Interagency StreamRestoration WorkingGroup (FISRWG, 1998), que diferenciam o leito de vazante, o leito menor, o leito maior e o maior excepcional, conforme **Figura 4**.

Figura 4. Diferentes tipos de leito.



Fonte: adaptada de Christofolletti (1981) e FISRWG (1998).

A parte que é ocupada pelas águas é denominada de leito menor e o da vazante, onde que o surgimento da vegetação é impedido pela frequente ocupação. Ao longo do canal, o leito de vazante é exposto pela linha de máxima profundidade, também denominada de talvegue. Em períodos de ocupação sazonal, ou seja, durante as cheias, o local é denominado de leito maior, e o leito maior excepcional ocorre somente durante grandes enchentes (CUNHA, 2001).

A análise do perfil transversal com seus diferentes leitos, seu regime de frequência e duração das águas é um elemento importante e se torna um pré-requisito para adotar a Engenharia Natural na articulação de cursos de água, sabendo que uma das principais ferramentas é o emprego de vegetação.

3.1.4.2 Perfil longitudinal

O perfil longitudinal de um recurso hídrico tem por finalidade demonstrar a variação da sua declividade ao longo do trecho, entre a nascente e a sua foz. Além disso, se trata de uma informação fisiográfica, muito importante para o entendimento para melhor aplicar o controle dos processos fluviais (CHRISTOFOLETTI, 1981).

Para um curso da água, a forma do perfil longitudinal possui sem dúvida alguma, relação com suas demais características hidráulicas e fisiográficas e, por consequência disto, possui uma relação com os processos fluviais (DURLO; SUTILI, 2005).

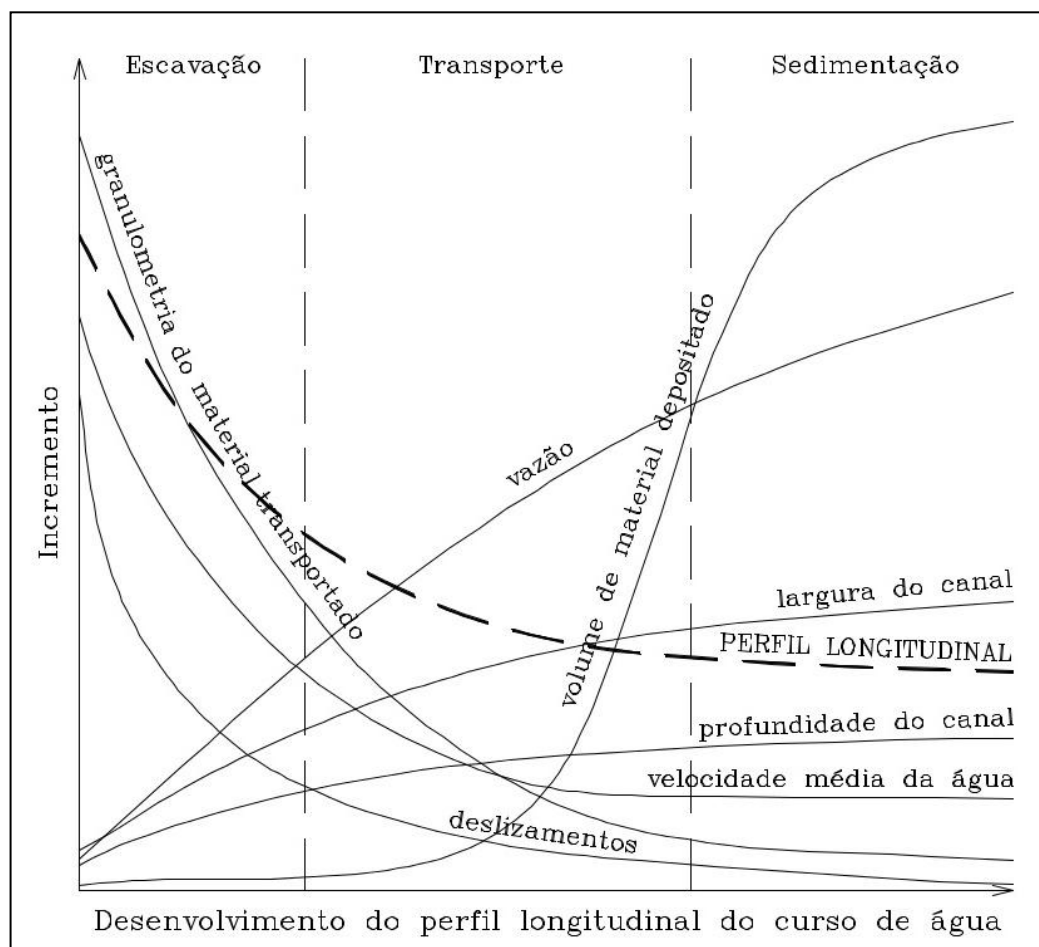
Ainda segundo Durlo e Sutili (2005), o perfil longitudinal de um recurso hídrico em sua representação gráfica é simples e resulta na demonstração do trajeto, analisado de um panorama em corte longitudinal. No eixo das ordenadas é representada a altitude, com verificações que podem ser fixadas conforme a notação das curvas de nível, como também qualquer outro dado altimétrico de que se disponha, e, no eixo das abscissas, é observada a soma das distâncias progressiva ou acumulada pelo curso de água entre cada cota.

Através da **Figura 5**, a FISRWG (1998) faz diversas correlações simples, mas facilmente elucidativas, de como atua um curso de água quando observado diante do desenvolvimento do seu perfil longitudinal.

Quanto ao formato côncavo do perfil longitudinal, Christofolletti (1981) afirma que esta formação reflete a maturidade do curso da água, bem como estabelece um equilíbrio entre as atividades de erosão, transporte e depósito dos sedimentos, ocorrendo, em regra, obedecendo ao típico desenvolvimento longitudinal do curso de água.

O perfil longitudinal na sua primeira etapa, seguramente é onde ocorre grande parte das escavações e transporte de materiais de um curso da água; na área intermediária, o processo predominante é o transporte dos materiais escavados a montante; e, no final, a atividade de sedimentação é a mais evidente. Esse processo ocorre por estar relacionado com a velocidade da água, que por sua vez é comandada principalmente pela declividade do leito, definida pela seção transversal, pelo perfil longitudinal, pelo revestimento das margens e do fundo do leito e ainda pelas condições do material transportado. Observando a figura 5, nota-se que, da nascente para a foz, a vazão, a largura do canal e a profundidade aumentam, enquanto a velocidade média da água e a ocorrência de deslizamentos diminuem (DURLO; SUTILI, 2005).

Figura 5. Mudança das formas de um recurso hídrico ao longo de seu perfil longitudinal.



Fonte: FISRWG (1998).

A diminuição da granulometria do material transportado está vinculada ao alcance das velocidades-críticas do carregamento correspondentes à densidade de cada material e da sua granulometria, à medida que diminui a velocidade da água (DURLO; SUTILI, 2005).

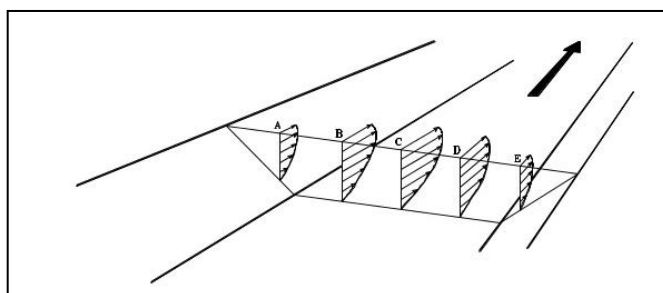
3.1.5 Velocidade da água

Seguindo a ideia de Aulitzky, Fiebigier e Diera (1990), a velocidade do fluxo depende, na grande maioria das vezes da inclinação do leito. Quanto maior for esta inclinação, maior será a velocidade da água e, conseqüentemente, maior será sua

capacidade de transporte de sedimentos, através disto a análise do perfil longitudinal de um recurso hídrico se torna uma peça importante para a compreensão dos fenômenos e atividades fluviais.

A velocidade da água não é baseada somente através da declividade do perfil longitudinal, conforme Netto e Alvarez (1982) demonstram que a velocidade da água também é alterada no sentido transversal do leito e canal. De uma forma geral, a velocidade da água de um trecho aberto vai diminuindo do centro para as margens, e da superfície para o fundo, este processo ocorre devido a resistência que as margens e o fundo exercem sobre a água, chamada de hipótese da camada limite. Outra forma de resistência que se pode levar em consideração é atmosfera, que mesmo sendo de pouca influência, diminui a velocidade da água em sua superfície livre (**Figura 6**).

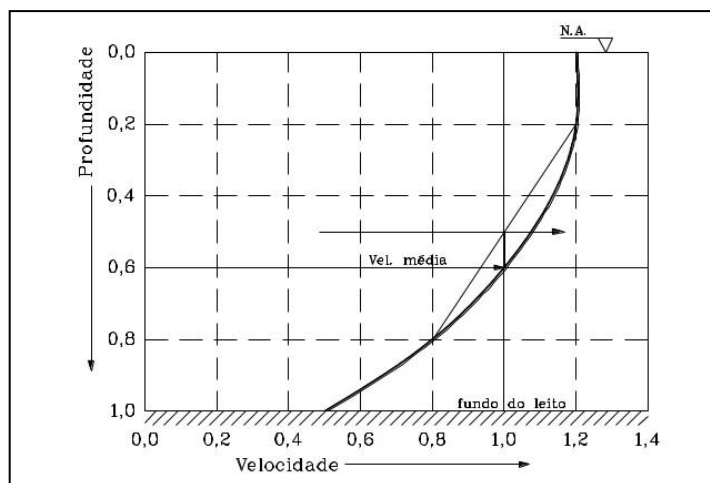
Figura 6. Diferenciação da velocidade em uma seção transversal de um recurso hídrico.



Fonte: Netto e Alvarez (1982).

Na forma vertical, um pouco abaixo da superfície é o ponto onde é encontrada a velocidade máxima. Conforme a **Figura 7**, a velocidade média está localizada aproximadamente a 0,6 da profundidade, contando a partir da superfície, podendo ser melhor estabelecida através da média das velocidades obtidas a 0,2 e 0,8 da profundidade.

Figura 7. Relação da velocidade de um curso de água na vertical.

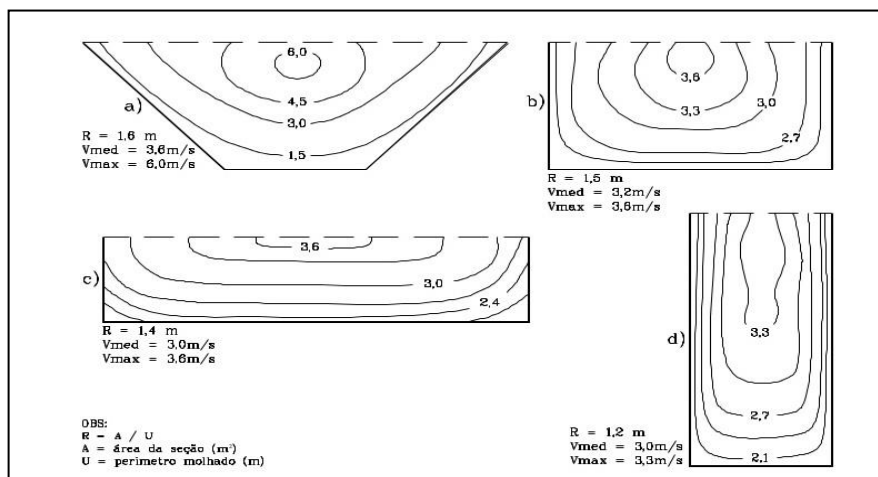


Fonte: NETTO e ALVAREZ (1982).

Segundo Bandini (1958) e Felkel (1960), e posteriormente apresentado por Bigarella (2003), em uma visão transversal ao recurso hídrico, a geometria do canal influencia fortemente na distribuição das velocidades da água. Por conta do atrito com a área do perímetro molhado, formas com raio hidráulico maior, tendem a perder menos velocidade (**Figura 8**).

A perda de velocidade se dá também através da existência de quedas e/ou ressaltos e ainda com as mudanças na formação horizontal do curso. Nos canais meandricos, as curvas exercem um processo adicional ao movimento (**Figura 9**), e o ponto em que a água se desloca com maior velocidade, através da inércia, para o raio externo, com determinada redução de velocidade no raio interno. Através da força centrífuga provocada pela rotação da água no ponto curvo, se analisa uma superelevação de nível na área externa da curva (NETTO; ALVAREZ, 1982) e, segundo Leinz e Amaral (1978), uma movimentação do eixo do curso hídrico, ou seja, da zona de maior velocidade, nessa mesma direção.

Figura 8. Distribuição das velocidades da água em função da geometria da seção transversal do canal, mantidas a inclinação geral, as constantes e a rugosidade.

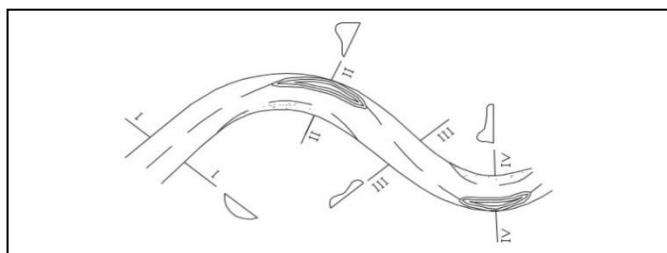


Fonte: Lame (1937) apud Christofolletti (1981).

Em acompanhamento do eixo do curso hídrico, está a maior força transportadora e erosiva. A corrosão da margem e o aprofundamento do leito em determinado ponto se dá em virtude da movimentação do potencial de erosão juntamente com a capacidade de transporte, do centro para o raio externo da curva.

Na **Figura 9** a linha pontilhada ilustra o deslocamento da zona com maior velocidade. Nota-se, que nos perfis transversais I e III, localizados em pontos retilíneos, que a água possui uma velocidade de distribuição simétrica e permanece relativamente inferior próximo às margens do rio. De outra forma, os perfis II e IV apresentam elevada velocidade da água em pontos próximos ao raio externo das respectivas curvas. (DURLO; SUTILI, 2005)

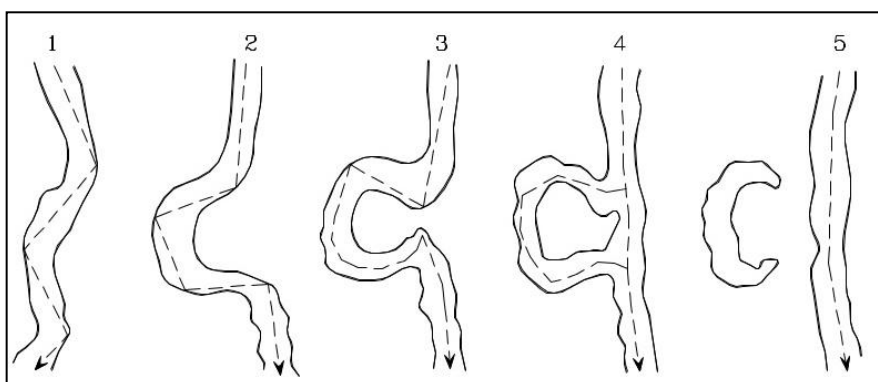
Figura 9. Divisão da água em trechos de um curso meandrante.



Fonte: Weinmeister (1994).

Segundo Wolle (1988) as danificações e os consequentes desmoronamentos e os deslizamento nos segmentos externos produzem os materiais detríticos que se depositam no raio interno das próximas curvas. Levando em consideração os propósitos de Sawyer (1975), Leinz e Amaral (1978) ao longo de um curso da água, durante um longo período de tempo, devido à intensa ocorrência de deslizamentos e sedimentações, o trecho pode evoluir de tal forma que acaba se alargando e tornando os meandros de tal forma mais complexos que deslocam o curso e extinguem trechos curvos, desta forma, acabam surgindo os chamados braços mortos, também denominados de paleomeandros (**Figura 10**). Estes, através das sucessivas inundações podem ser preenchidos lentamente por sedimentos finos.

Figura 10. Desenvolvimento de um trecho curvo, até o paleomeandro.



Fonte: Campos (1912).

3.1.6 Deslocamentos de Sedimentos

As elevações dos níveis das águas correspondem aos processos de movimentação fluvial, que são responsáveis pelas erosões e da degradação das margens dos rios (FERREIRA; BOTH, 2005). Estas ações podem ser indicadores determinantes nas classificações dos processos erosivos, onde também podem promover em ambientes hídricos determinados deslocamentos de sedimentos. Estes deslocamentos podem ocorrer de diversas maneiras, pois englobam uma diversidade de processos e materiais, além de que podem ocorrer em certa variedade de ambientes (FERNANDES; AMARAL, 2000, GUIDICINI; NIEBLE, 1983,

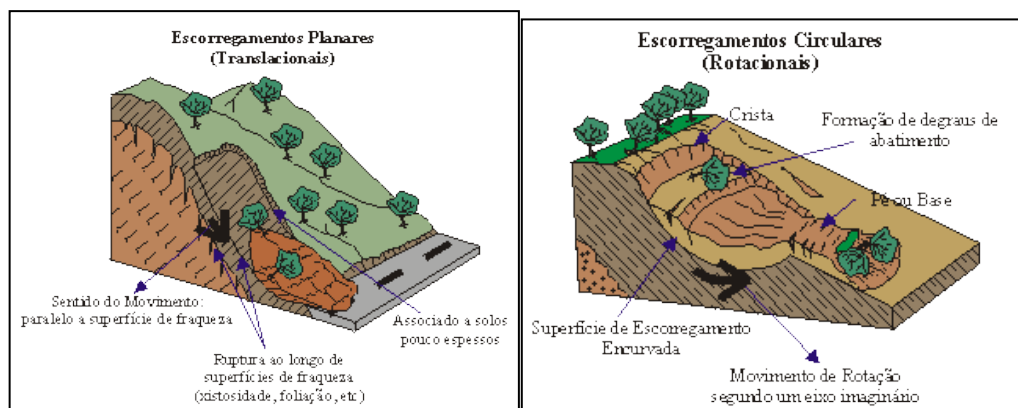
TOMONAGA; SANTORO; AMARAL, 2009). As classificações dos deslocamentos de materiais seguem alguns parâmetros, são eles: o tipo de material movido, a velocidade da água e o tipo de mecanismo do movimento, o tipo de deformidade, a quantidade de água e a geometria da massa transportada (SEBY, 1993; FLORENZANO, 2008).

Os deslocamentos de materiais são ocasionados por atividades naturais e/ou induzidas, principalmente por processos relacionados à população existente no entorno, consequentemente fazendo parte da evolução da paisagem. Estes processos estão vinculados com a remoção de material (vegetação, rocha e solos) no decorrer de um barranco ou encosta, ativado pela força da água e deslocado pela ação da gravidade (MAGALHAES et al. 2011). Dentre as classificações, as que se melhor qualificam são as de Freire (1965) citadas por Guidicini e Nieble (1983), Fernandes e Amaral (2000) e Tomonaga, Santoro e Amaral (2009), que relacionam os deslocamentos de materiais em escorregamentos (rotacionais, translacionais e em cunha), e, em solapamentos segundo Galvão (2006).

Guidicini e Nieble (1983) avaliam que a natureza do terreno, a inclinação da superfície de deslizamento e a causa inicial da movimentação são fatos que indicarão a velocidade do movimento. Esta velocidade varia de quase zero a alguns metros por segundo. Em terrenos que possuem características homogêneas os movimentos se tornam mais bruscos, em virtude da sua superfície de escorregamento ser mais inclinada.

Considerando a natureza e a geometria dos sedimentos instabilizados, os desmoronamentos podem ser subdivididos em: escorregamentos rotacionais ou circulares, escorregamentos em cunha e escorregamentos translacionais ou planares. Varnes (1978) apud Durlo e Sutili (2005), afirmam que normalmente os translacionais ocorrem sobre superfícies de deslizamento já existentes enquanto que, para os rotacionais não se consegue distinguir claramente a massa que cedeu e a que ficou estável (**Figura 11**).

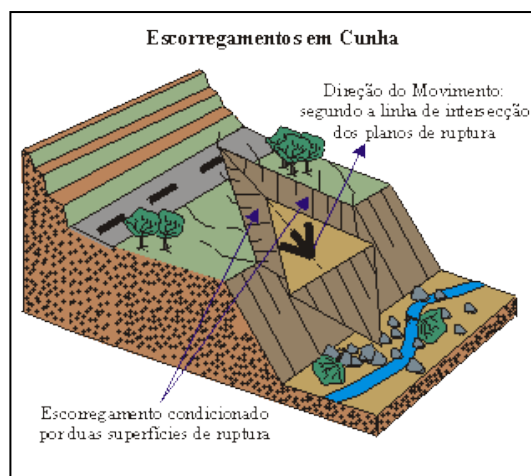
Figura 11. Forma de deslizamento Planar e Circular.



Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11a.html>

Os deslizamentos em cunha apresentam maior ocorrência em áreas mais restritas, em regiões que possuem fortemente um relevo controlado por feições geológicas, ocorrendo principalmente em encostas ou taludes de corte que apresentaram algum tipo de intervenção natural ou antrópica (**Figura 12**) (TOMONAGA; SANTORO; AMARAL, 2009).

Figura 12. Deslizamento em cunha.

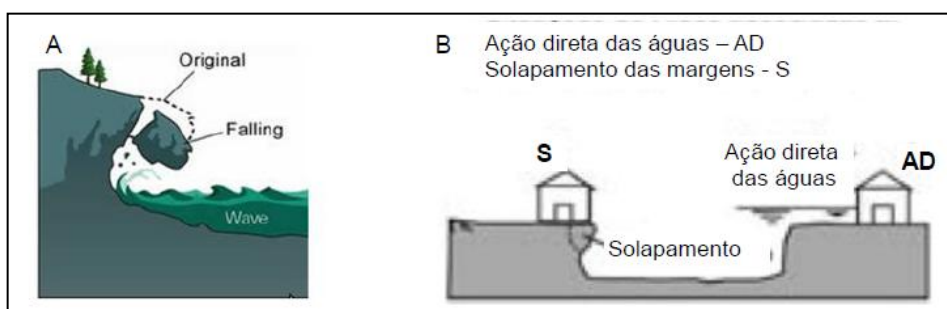


Fonte: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11a.html>.

Carvalho e Galvão (2006) afirmam que os solapamentos (desbarrancamentos) são processos que podem ser ocasionados em locais adjacentes aos recursos hídricos (rios e córregos), isto porque estão relacionados a processos erosivos das margens ou dos taludes de um trecho hídrico,

consequentemente acarretando em margens desestabilizadas. Lima (1998) explica que com o aumento do nível do rio, a água provoca erosões em seus taludes, acarretando em uma perda de sustentação e consequentemente a queda dos mesmos (**Figura 13 - A**). Este processo de solapamento pode ser total ou parcial no talude, podendo configurar uma feição em forma de degraus (FERREIRA; BOTH, 2005).

Figura 13. (A) demonstra o processo de solapamento e (B) os riscos ligados às infraestruturas.



Fonte: Carvalho e Galvão (2006)

Carvalho e Galvão (2006) também analisam que as áreas de risco surgem quando a ocupação se aloca nos domínios mais próximos aos córregos e às margens dos arroios, e muitas vezes, até no próprio leito dos recursos hídricos. Estas áreas de risco se intensificam ainda mais quando ocorrem intensas chuvas, onde as moradias sofrem ameaças pela probabilidade da ocorrência de solapamentos das margens do curso ou pela ação da água diretamente sobre as construções (**Figura 13 - B**).

Em meio à natureza, ao passar dos anos, a vegetação fixada nas margens dos rios vem tendo uma importância fundamental para a existência dos leitos e para a estabilidade das margens. Esta vegetação é conhecida como Vegetação Ciliar.

3.2 Vegetação Ciliar

Para Martins (2001), mata ciliar, mata de galeria, floresta ripária e ribeirinha são alguns termos que se associam à vegetação que se desenvolve ao longo dos

recursos hídricos. Mata ciliar é o termo técnico mais conhecido e, por conta disso, será aqui utilizado. Para Passos (1998), a formação florestal que ocorre ao decorrer dos recursos hídricos é conhecida por mata ciliar, esta, abrangendo locais que estão mais propícios às inundações temporárias. Ela possui extrema importância para o controle do curso hídrico, para o reparo da qualidade da água dos rios, redução dos processos erosivos das barrancas, reservatórios e lagos, manutenção da ictiofauna e evolução paisagística.

Levando em consideração o exposto por Salvador (1987), a formação florística da mata ciliar vai depender de diversos fatores, dentre os quais estão à formação de outra vegetação próxima, as características do recurso hídrico, como por exemplo, a área de inundação, a topografia das margens, a flutuação do lençol freático, os processos de sedimentação e a característica do solo.

Os mananciais possuem uma importante proteção proporcionada pela mata ciliar, é ela que controla a chegada dos nutrientes, adubos, sedimentos, agrotóxicos e os processos erosivos das ribanceiras que ocasionam os assoreamentos dos rios, modificando suas formas físicas, biológicas, químicas e a qualidade dos recursos hídricos (Bertoni e Martins, 1987; Delitti, 1989; Lima, 1989; Harper et al, 1992; Davide e Botelho, 1999; Carvalho, 2000).

A vegetação ciliar possui forte influência sobre os diferentes tipos de corpos d'água, e por causa disso sua remoção ocasiona sérios prejuízos ao ser humano e principalmente a natureza. Com o objetivo de barrar a invasão de áreas consideradas ambientalmente sensíveis, e obrigando assim a conservação de uma parcela mínima de vegetação nativa para proporcionar um equilíbrio no ecossistema, mesmo que seja mínimo, e instigar a plantação e o uso consciente das florestas, em 1965, foi criada a lei nº 4771, mais conhecida como Código Florestal (BRASIL, 1965) (CARPANEZZI; 200 apud CECONI; 2010)

Nesta lei, conforme art. 4º, as matas ciliares estão anexadas junto das APP's, igualmente as demais florestas e outras formas de flora existentes ao longo dos rios, nascentes, lagos, reservatórios e lagoas, pois estes exercem uma função ambiental de preservação dos cursos da água, da paisagem, da configuração geológica, da

biodiversidade, do fluxo gênico da flora e fauna, assegurar o bem viver dos seres humanos e proteger o solo (BRASIL, 2012).

A lei mencionada anteriormente teve sua escrita modificada pela Lei Federal nº 7.803, de 18 de julho de 1989 (BRASIL, 1989) e pelas Leis Federais nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012a) e nº 12.727, de 17 de outubro de 2012 (BRASIL, 2012b). Impõe que deve ser preservada uma faixa mínima de vegetação nas margens dos rios, variando entre 30 a 500m, estas medidas vão depender da largura de cada curso d'água (**Figura 14**), e determinando a manutenção ou a recuperação da floresta original. Determinada a recuperar ambientalmente as áreas de usos consolidados, Brasil (2012b) no Artigo 61-A, define que em Áreas de Preservação Permanente está autorizada, com exclusividade, a permanência das atividades agrossilvopastoris, de turismo e ecoturismo em áreas rurais consideradas consolidadas até 22 de julho de 2008, sendo que:

§ 1º Para os imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal¹ que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a composição das respectivas faixas marginais em 5 (cinco) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água.

§ 2º Para imóveis rurais com área superior a 1 (um) módulo fiscal e de até 2 (módulos fiscais) que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 8 (oito) metros, contados da borda da calha do leito regular, independente da largura do curso d'água.

§ 3º Para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) módulos fiscais e de até 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais em 15 (quinze) metros, contados da borda da calha do leito regular, independentemente da largura do curso d'água.

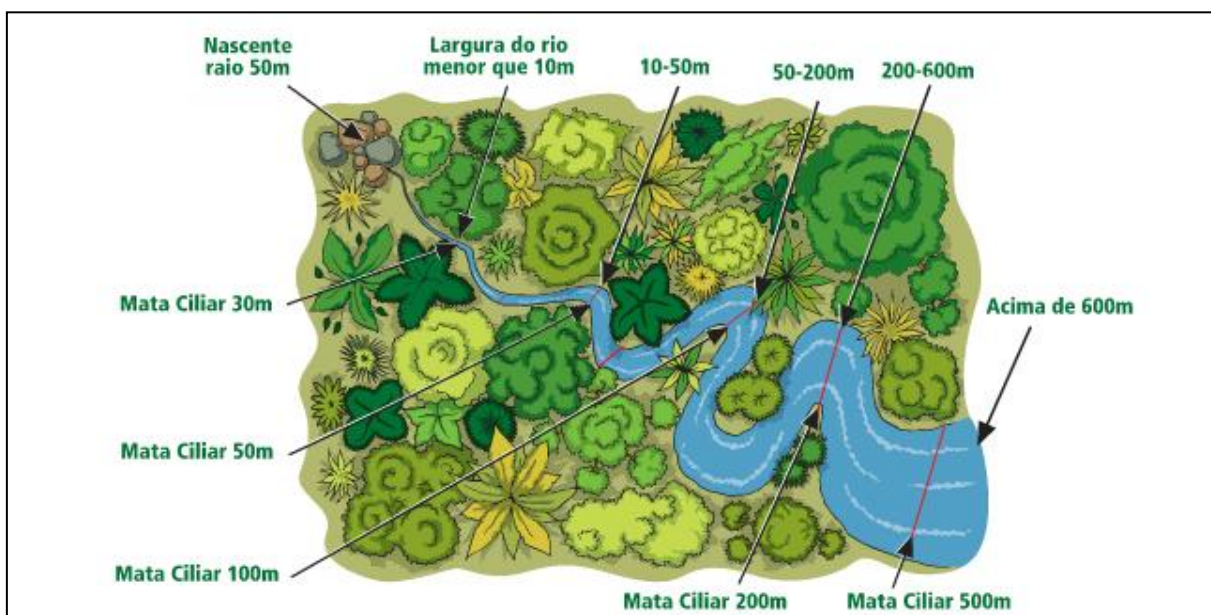
§ 4º Para os imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais que possuam áreas consolidadas em Áreas de Preservação Permanente ao longo de cursos d'água naturais, será obrigatória a recomposição das respectivas faixas marginais:

I – VETADO; e

II – nos demais casos, em extensão corresponderá à metade da largura do curso d'água, observando o mínimo de 30 (trinta) e o máximo de 100 (cem) metros, contados da borda da calha do leito regular (BRASIL, 2012).

¹ No município de Marques de Souza, 1 (um) módulo fiscal equivale a 18 hectares (há) (INCRA, 2013)

Figura 14. Largura das APPs no entorno dos cursos hídricos de acordo com sua largura.



FONTE: SEMA (20017).

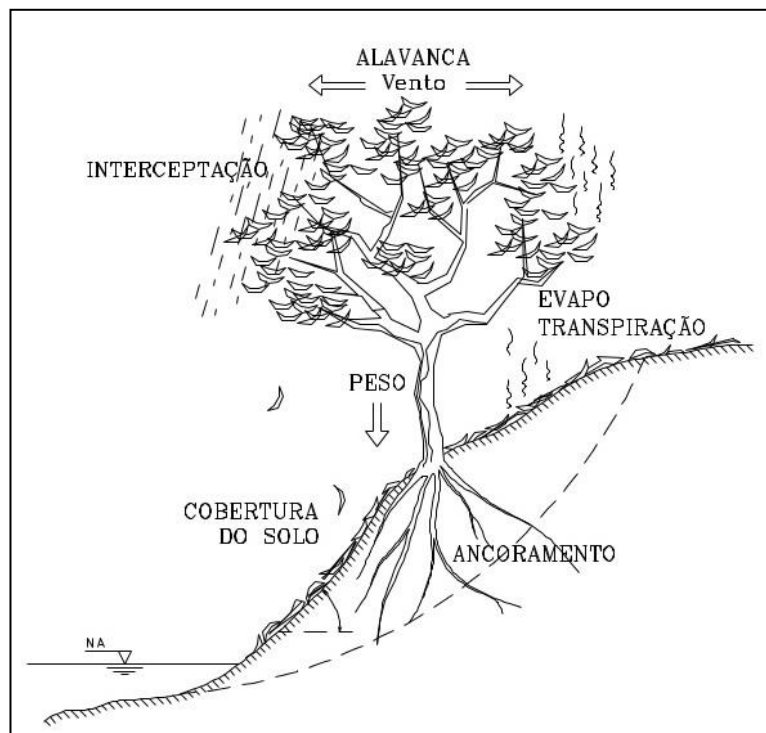
Em localidades onde a topografia é mais acidentada, as matas ciliares exercem a função de proteção dos solos contra a erosão, pois elas proporcionam a estabilidade dos taludes através das suas raízes que formam uma malha densa, atuando como fator de estabilidade das margens (MARTINS, 2007), que além de conter o cisalhamento do solo, as raízes formam uma rede de canais que facilitam a ligação da vazão com os barrancos, com isso, a água oriunda do processo fluvial infiltra pelo solo marginal, diminuindo o percentual de processos erosivos e consequentemente permitindo uma margem mais estável (GOMES, 2005).

3.2.1 Consequências da Mata Ciliar sobre as Margens Hídricas

A mata ciliar se diferencia pelas inúmeras técnicas que podem ser adaptadas para a contenção de algumas atividades hídricas, principalmente na estabilização de taludes (SUTILI, 2004). De uma forma mais ampla, a vegetação produz alguns efeitos sobre as margens, que são: o barramento das águas da chuva, elevação da evapotranspiração, ancoragem do talude, adiciona peso, produz um efeito de

alavanca sobre o talude e cobrem o terreno com a serapilheira existente na superfície (**Figura 15**) (DURLO; SUTILI, 2005).

Figura 15. Consequências na estabilidade de um talude com a presença de uma árvore.



Fonte: Sutili (2004).

A fim de escolher espécies mais apropriadas, além da parte biotécnica presente como fundamental característica, devem também ser levados em consideração os aspectos fitossociológicos, ecológicos e reprodutivos. Gray e Leiser (1982), Morgan e Rickson (1995), Florineth (1982) e Gerstgraser (2000) indicam que no momento da escolha se deve optar pelas espécies nativas da área, pois elas possuem uma melhor adaptação principalmente nas questões climáticas e edáficas específicas.

As matas ciliares apresentam características biotécnicas excelentes para a estabilidade dos taludes dos cursos da água (GRAY; LEISER, 1982; BEGEMANN; SCHIECHTL, 1994; MORGAN; RICKSON, 1995; FLORINETH; GERSTGRASER, 2000). Juntamente com isto, Durlo e Sutili (2005) afirmam que entre os técnicos que trabalham com ambiente natural há um consenso coletivo que as plantas exercem

importante função na proteção do solo e na contenção dos seus movimentos conjuntos. Esta proteção se configura através do sistema radicular das plantas, que proporciona uma sustentação mecânica, acrescentando significativamente a resistência do solo ao cisalhamento. Porém, a vegetação pode provocar alguns efeitos prejudiciais aos taludes dos rios, grandes vegetações originam um excesso de carga vertical sobre o talude, ocasionando seu enfraquecimento ou mesmo seu impulsionamento nos dias de maiores incidências de ventos.

Diferentes processos e técnicas podem ser aplicados para aumentar a eficiência da vegetação e diminuir seu aspecto negativo. Essas técnicas incluem a análise das espécies que se melhor identificam com as condições locais e finalidades da estabilização, acompanhamento do desenvolvimento da vegetação, com o intuito de remediar qualquer característica indesejável, incluindo neste caso os desbastes, podas, adubação e capina. (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2011).

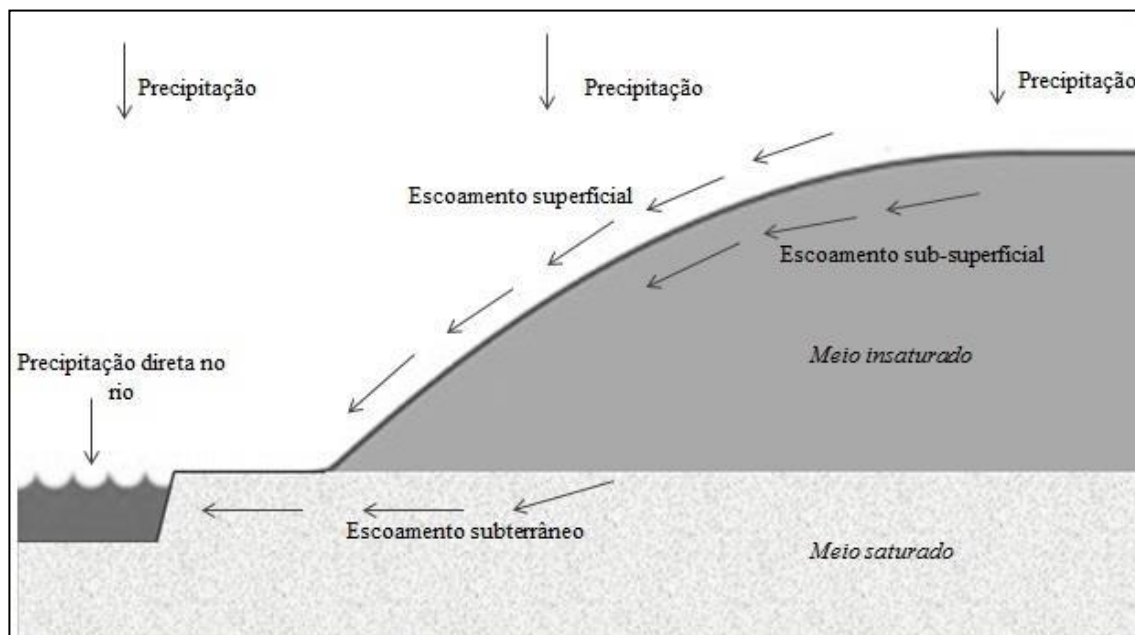
Da mesma forma que o reforço do solo e a melhora da estabilidade das margens das encostas são vinculados ao crescimento da vegetação ciliar, a sua retirada pode desfavorecer o solo e enfraquecer as encostas (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2011). Segundo Corrêa (2004), a retirada ou morte de exemplares vegetais arbóreos implicam na decomposição das raízes que propiciam a ancoragem destes exemplares juntamente com o solo existente a sua volta, ficando somente os drenos (dutos) que conduzem em profundidade as águas da chuva.

O desmatamento das zonas marginais eleva com mais incidência o impacto de eventos de precipitações. Depois da chuva, com grande velocidade a água atinge o curso d'água, isto porque na localidade não há a presença da vegetação marginal, que anteriormente barrava esta elevada velocidade. A água proveniente das chuvas, que geralmente atingia o recurso hídrico através do escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, agora atinge o rio praticamente através de escoamento superficial (

Figura 16). Havendo o transbordamento da calha do recurso hídrico, irá provocar um deslizamento laminar e perda de solo fértil nas áreas que estão desprotegidas, conseqüentemente havendo o depósito do material erodido no leito

do rio, ocasionando na redução da sua profundidade bem como elevando o índice de enchentes (CHECCHIA, 2003 apud BRESSIANI; SCHMIDT, 2016).

Figura 16. Visão dos escoamentos em áreas desprovidas de vegetação.



Fonte: BRESSIANI; SCHMIDT, 2016.

Através do que foi apresentado, percebe-se que a mata ciliar exerce uma segurança na estabilidade das encostas e taludes dos recursos hídricos. Na grande maioria das vezes exerce uma influência favorável, porém, pode adotar uma atividade adversa quanto a estabilidade dependendo da sua ausência ou porte, contribuindo na vulnerabilidade do meio e consequentemente na qualidade do ambiente. Levando em consideração estes aspectos, a bioengenharia de solos e as práticas de biotecnica podem ser analisadas como processos e estratégias para aumentar os benefícios da vegetação e diminuir seu prejuízo (ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2011).

3.3 Bioengenharia de Solos

As técnicas de engenharia tradicionais, além de ocasionarem a perda da funcionalidade ecológica de um sistema fluvial, também costumam repassar para

outras áreas do trecho os problemas relacionados aos processos de erosão. Os métodos utilizados atualmente costumam trabalhar diretamente na solução dos problemas específicos de cada área, sem levar em consideração o que determinada atividade ocasionará a partir da intervenção realizada (LI, EDDLEMAN, 2002).

Nessas circunstâncias, como solução aos eventos citados, é possível serem utilizadas técnicas que são mais conhecidas como bioengenharia de solos, que têm como seu princípio básico a utilização de materiais considerados inertes, como madeira, concreto, aço e fibras sintéticas em conexão com as partes biológicas, como a vegetação, por exemplo, no controle de processos erosivos. Estas técnicas de bioengenharia de solos já haviam sido utilizadas para o controle de erosões em margens e taludes de rios, em diversas partes do mundo, mais principalmente pelo Império Romano. Esta técnica perdeu espaço na época da Revolução Industrial, onde houve grande expansão de tecnologias envolvendo o concreto e o aço (COUTO, 2010).

Segundo Couto (2010), estas técnicas retornaram na década de 30 do século XX através de engenheiros norte-americanos e europeus que voltaram a utilizar as técnicas envolvendo a bioengenharia, que possuem as seguintes vantagens:

- Menor utilização de máquinas: a prática da bioengenharia de solos pode ser definida como um trabalho-técnico intensivo, em contrapartida à engenharia convencional. Por conseguinte, necessitam empregar uma maior mão de obra e possui comparativamente um custo menor no final.
- Aplicação de materiais do próprio local e natural: pedras, madeira, compostos orgânicos, reduzindo os custos no transporte.
- Relação custo/benefício: a prática de bioengenharia de solos apresenta, muitas vezes, em comparação com as técnicas de engenharia tradicional uma melhor relação custo/benefício.
- Compatibilidade ambiental: a bioengenharia de solos é uma técnica que geralmente requer uma mínima utilização de maquinários e de movimentação de solo, o que proporciona uma menor ocorrência de perturbação no decorrer das obras de proteção das margens e controle de erosão. Além disso, são fatores que favorecem as áreas sensíveis,

como reservas naturais, áreas ripárias, parques e corredores naturais, onde é de grande importância o fator da estética, proporcionando ainda a restauração ecológica, habitat para fauna nativa e o conforto ecológico.

- Aplicação em áreas de difícil acesso ou inexistente: em locais com precário acesso, ou inacessível para os equipamentos, as práticas de bioengenharia podem possuir a única possibilidade de acesso em áreas que necessitam de obras para a proteção dos taludes e controle de processos erosivos.

A técnica de bioengenharia de solos é também conhecida como engenharia biotécnica (ARAUJO; ALMEIDA; GUERRA, 2011, DURLO; SUTILI, 2005), engenharia biofísica (FREITAS, 2006), dentre outros inúmeros termos técnicos. Quando a técnica proposta é aplicada aos recursos hídricos, a bioengenharia de solos pode ser determinada como manejo biotécnico de recursos hídricos, cujo propósito é unificar as vantagens existentes nos dois tipos de materiais (vivo e inerte), para objetivar a recuperação ou estabilização dos locais remediados, sem se esquecer dos aspectos econômicos e ecológicos que estão sempre envolvidos (DURLO; SUTILI, 2005).

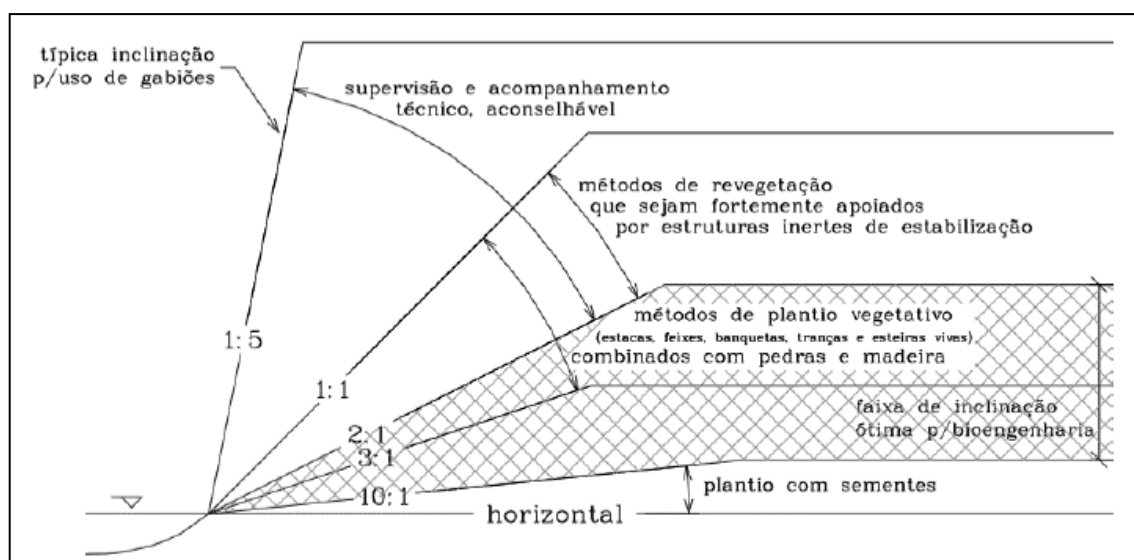
As práticas existentes para executar o manejo de recursos hídricos são expressas, de uma forma geral, em dois diferentes grupos: Manejo passivo e Manejo ativo (DURLO; SUTILI, 2005). No primeiro grupo, estão enquadradas as ações preventivas realizadas como um todo para a bacia hidrográfica, sempre objetivando outras situações, como o controle dos recursos hídricos. Já o segundo grupo, as práticas estão relacionadas com áreas consideradas pequenas, onde os impactos são pontuais. Estão inclusos a limpeza do canal do recurso hídrico, sua remodelagem, o recapeamento da vegetação existente nas margens e outras técnicas de Engenharia Natural.

Levando em consideração a ideia de Sutili (2004), que expõe que além da solução da problemática, deve-se levar em consideração os fatores econômicos, estéticos e ecológicos. Desta maneira, procura-se manter a morfologia do curso original, com perfis transversais e meandros assimétricos, e se indica a criação ou a preservação dos *habitats* naturais da fauna e da flora. Na grande maioria das vezes

a evolução da vegetação em taludes fluviais se torna praticamente impossível em virtude dos efeitos dos deslizamentos e da corrosão.

Para a execução da estabilização é aconselhável a utilização de diferentes métodos (técnicas), levando em consideração a inclinação do talude (**Figura 17**). À proporção que os taludes ou encostas fluviais se apresentam de forma mais abrupta e ou mais estáveis, consequentemente deverá ser empregada uma maior diversidade de arranjos e técnicas especiais para a realização da revegetação, bem como também uma maior aplicação e combinação de compostos inertes e ativos (FISRWG, 1998).

Figura 17. Definição do melhor método a ser aplicado em função da inclinação.



Fonte: Sutili (2004), adaptado de Fisirwg (1998).

As obras de consolidação e melhoria do talude podem ser executadas com um custo baixo e de maneira simples, porém elas necessitam possuir, no mínimo, uma vida útil igual ao tempo necessário para assegurar a sobrevivência e o efeito de proteção da vegetação implantada. Com o objetivo de proporcionar as melhores características para utilizar a vegetação, na grande maioria das vezes o terreno necessita sofrer algumas melhorias, como o seu retaludamento e uma eventual cobertura com materiais diversos. A utilização de pequenas obras implicará na consolidação do terreno, nestas construções deve-se preferencialmente utilizar materiais com baixo custo e preferencialmente serem obtidos na própria área, como,

por exemplo, galhos, restos vegetais, pedras e madeira roliça, em diferentes tamanhos, disposições e combinações sobre a área (DURLO; SUTILI, 2005).

A bioengenharia, segundo Fisrwg (1998), preconiza inúmeras formas de construção e tipo de revegetação. Os resultados atingidos e o efeito proporcionado irão depender tanto da forma da construção e do tipo do material utilizado, juntamente com as espécies vegetais e o tipo de revegetação que se adequam com a estrutura. Os efeitos, num comparativo com outras técnicas, são ganhos para a economia, ecologia e paisagismo. O objetivo é que grandes e pesadas construções sejam evitadas, sempre procurando alterar o mínimo possível as condições naturais já existentes (DURLO; SUTILI, 2005).

Segundo Durlo e Sutili (2005), as obras de bioengenharia são divididas em dois grupos, levando em consideração a sua posição em relação ao eixo do recurso hídrico e a sua função: as transversais e as longitudinais. As obras transversais têm como objetivo principal reduzir a velocidade da água com a construção de um perfil de compensação que altera a inclinação original do leito, portanto, acaba forçando o depósito de sedimentos, consolidando o leito e estabilizando as margens.

Esta divisão que foi citada anteriormente pelos autores, foi acrescentada por Allen e Leech (1997) e Hoag e Fripp (2002) que acabaram dividindo as margens dos recursos hídricos em quatro zonas, levando em consideração os diversos níveis de elevação, duração e frequência da permanência das águas, estas sendo chamadas de *Toe zone*, *Splash zone*, *Bank zone* e *Terrace zone*, assim podendo ser indicado as intervenções que se melhor enquadrem em cada uma das zonas (**Figura 18**).

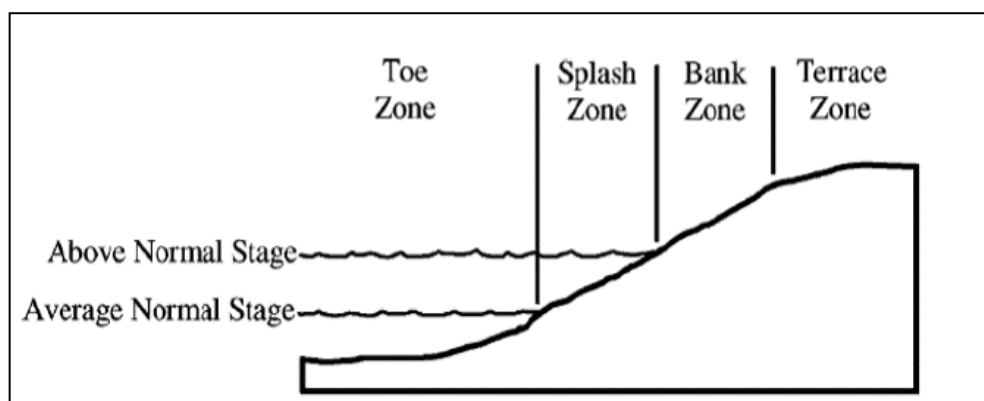
Toe zone: o segmento da margem localizada entre o fundo e a fase mediana normal tomada pela água.

Splash zone: o segmento da margem localizada entre os níveis de fase mediana normal e alta das águas.

Bank zone: o segmento da margem localizado além do nível alto do alcance das águas, mas que em determinados eventos extremos de cheia podem ser atingidos.

Terrace zone: o segmento da margem que está localizado fora do limite atingido pelos níveis da água. A proteção da margem nessa zona é a menos significativa, isto porque a inundação é considerada de baixa frequência, mas em eventuais inundações que atingirem esta zona pode facilmente ser erodida em casos de ausência de vegetação.

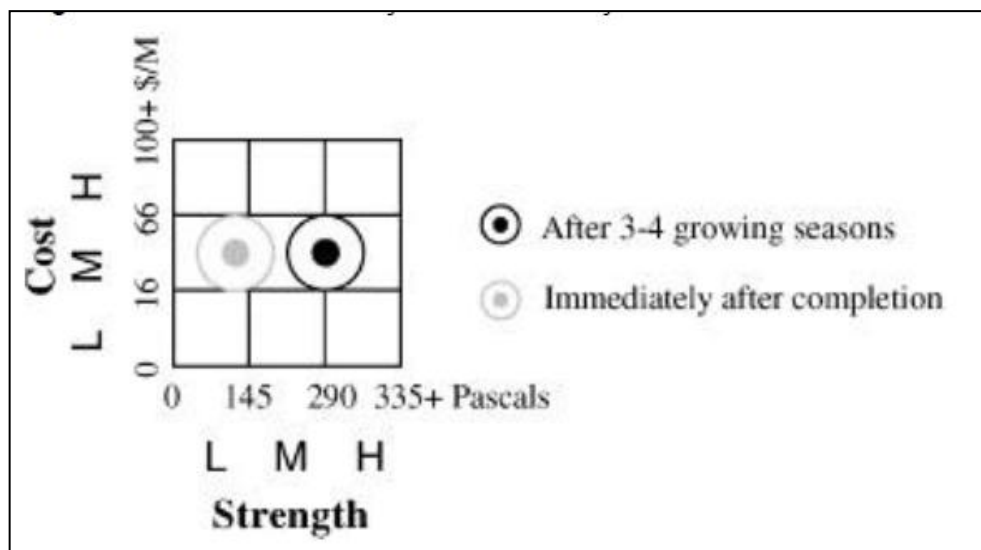
Figura 18. Divisão da margem de recursos hídricos em zonas.



Fonte: LI e Eddleman (2002).

Com a divisão destas zonas, LI e Eddleman (2002) ajudaram no desenvolvimento da matriz que consegue avaliar a força e o custo das obras de bioengenharia. Produziram uma matriz que os eixos X e Y são divididos em segmentos: baixo (L), médio (M) e alto (H), tendo no eixo X a indicação da força e no eixo Y a indicação dos custos previstos para a obra (**Figura 19**).

Figura 19. Matriz de avaliação força/curto.



Fonte – Li e Eddleman (2002)

Nesta matriz de avaliação também pode ser verificado um círculo concêntrico, indicando os valores de custo/força, sendo que o pequeno círculo está localizado próximo do valor médio, e o círculo grande está no valor que recobre a maior parcela dos valores indicados nas literaturas. Para as técnicas que apresentam uma fraca resistência na etapa inicial, depois da conclusão, é ilustrado um círculo cinza concêntrico que representa a resistência durante esta etapa. Na esperança da força da técnica biotécnica aumentar com o tempo, ainda é colocado um círculo concêntrico preto (LI; EDDLEMAN, 2002).

3.3.1 Enrocamento de Pedras (*Rip Rap*)

Os enrocamentos são técnicas de engenharia utilizadas para controlar os processos erosivos, sendo um, entre os diversos métodos de contenção dos taludes de rios e arroios, também conhecidos com RSP (Rock Slope Protection) ou “riprap”. Consiste em um ou mais níveis de pedras que são depositadas no decorrer das margens do curso d’água como forma de conter a erosão. Cada nível de pedra é graduado conforme porcentagens especificadas, com variados tamanhos dentro de determinados padrões. Os enrocamentos são técnicas que permitem uma

flexibilidade e as pedras tem a opção de se movimentarem para níveis mais estáveis através da força exercida pelo fluxo da água, gravidade ou pelas ações das ondas, não necessariamente afetando ou comprometendo a estabilidade do talude, e o solo que pode exercer o trabalho de preenchimento dos espaços vazios existentes entre as rochas (RACIN *et al.*, 2000).

Segundo Teixeira (2006), os enrocamentos constituem na simples prática de revestir os taludes com rochas ou blocos artificiais, com o objetivo de formar um maciço de rochas arrumadas ou jogadas, com o intuito de conter aterros, taludes, margens de rios, encostas, dos efeitos dos processos erosivos.

Para Teixeira (2006), a estabilidade exercida pela técnica dos enrocamentos possui diferentes aspectos e funções, por exemplo, na velocidade de escoamento, nas propriedades físicas rochosas e nas condições de turbulência do trecho. Segundo Brighetti e Martins (2001), o tamanho do revestimento e as dimensões das pedras devem ser projetadas adequadamente para resistirem as deformações causadas pela correnteza da água, evitando assim que o solo existente na base seja erodido.

Adotando a técnica do enrocamento na base do talude, este favorecerá na sua estabilização, em virtude da diminuição do impacto exercido pelo reflexo ou fluxo das ondas e ventos na área inferior do talude, contendo assim o acontecimento de solapamentos na base. Tendo um talude estável, favorecerá a implantação de vegetação, possuindo uma melhor condição para se desenvolver e evitar ocorrências de erosões marginais.

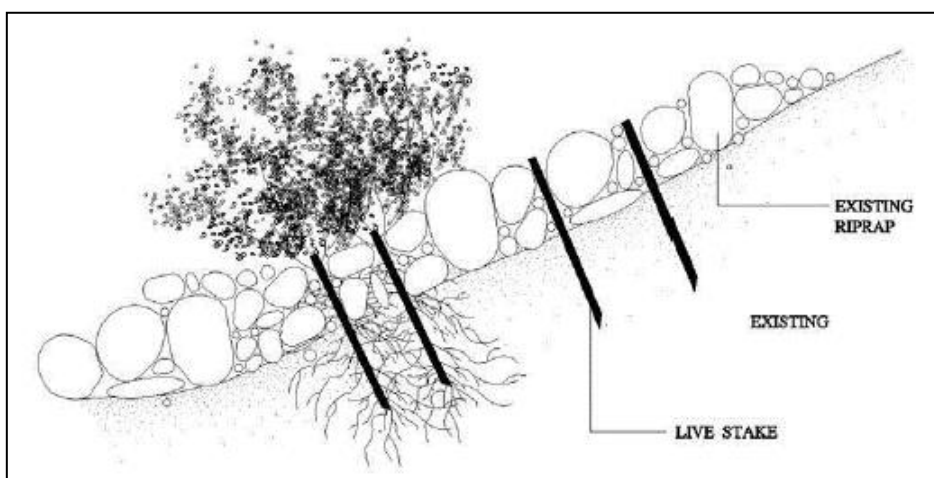
As margens revestidas com enrocamentos são caracterizadas como uma prática de emergência, adotada para conter principalmente a erosão em taludes de rios (HOLANDA *et al.*, 2001). A CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco) adotou a prática do enrocamento para conter a erosão em locais dos Perímetros Irrigados Cotinguiba-Pindoba e Betume. Nessas áreas esta técnica foi aplicada em toda a margem marginal, tendo como função proteger o talude e proporcionar um suporte para que haja o crescimento das espécies vegetais (RIBEIRO, 2008).

A prática do enrocamento de rochas pode ser aplicada juntamente com ramos vivos, proporcionando assim uma maior proteção do talude em sua base, desenvolvendo a vegetação e garantindo maior estabilidade do talude. A utilização de solos deve ser utilizada para o preenchimento dos espaços vazios entre as rochas, possibilitando o desenvolvimento da vegetação (RACIN et al., 2000).

3.3.2 Enrocamento com vegetação

Esta forma de bioengenharia consiste em preencher os espaços e aberturas existentes entre as rochas do enrocamento de pedras com estacas vivas (MING-HAN e EDDLEMAN, 2002). Essa técnica proporciona uma imediata proteção dos taludes que estão sofrendo com os processos erosivos ativos (**Figura 20**).

Figura 20. Esquematisação do enrocamento vegetado.



Fonte: SOTIR (1998) retirado de CAMPBELL et al. (2008).

As estacas vivas executam o trabalho de interligar as partículas do solo, controla o excesso de umidade através do sistema radicular e através do enrocamento, garante uma excelente estabilização mecânica das margens. Esta técnica é indicada para locais afetados pelo fluxo subsuperficial das águas e pelo deslocamento superficial de massa do solo. As estacas utilizadas devem possuir um comprimento entre 0,85 a 1,00 m de comprimento a 12 a 40 mm de diâmetro

(CAPBELL et al., 2008). O custo para implantar este método de bioengenharia de solos é considerado médio.

3.3.3 Vegetação

A utilização da vegetação como técnica de bioengenharia de solo possui uma fundamental significância no equilíbrio sedimentológico e hídrico da bacia, sua função é facilitar que a água infiltre no solo, reduzindo o escoamento superficial bem como evitando processos erosivos na superfície do solo (HOLANDA, 2008).

Esta estabilização acontece principalmente em virtude do sistema radicular, que exerce uma força mecânica, acrescentando substancialmente as massas terrosas uma resistência maior ao cisalhamento. Esta prática de proteção que a vegetação riparia exerce representa um significativo valor para a sociedade, principalmente no sócio-econômico, pois impede os processos erosivos, evitando a perda do solo utilizado para a agricultura (DURLO; SUTILI, 2005).

Segundo Pereira (2008) a escolha da vegetação a ser utilizada para a recomposição de taludes deve ser muito criteriosa, devem ser avaliadas as características fisiológicas, ambientais e edafoclimáticas das espécies selecionadas, estas podem interferir significativamente na infiltração da água e no escoamento superficial do solo.

3.3.4 Capim Vetiver

O capim vetiver é uma espécie que teve sua origem na Índia e que foi promovida pelo Banco Mundial em 1980 para a preservação de solos, porém este tipo de vegetação vem sendo muito utilizado em técnicas de estabilização de taludes, controle de processos erosivos, recuperação de áreas salinas, entre outros usos (MICKOVSKI e VAN BEEK, 2009). Segundo The World Bank (2003) e Souza e Lorenzi (2005) o capim vetiver é uma espécie herbácea, reta, que pertence ao grupo

das gramíneas (Poaceae), ela é classificada como perene, pertencente ao grupo C4, com capacidade de atingir uma altura entre 1,5 a 2,0 m de altura aproximadamente, possuindo folhas alternas dísticas consideradas rígidas, tendo 75 cm de comprimento e 8 mm de largura.

Este capim se faz presente em diferentes tipos de clima, ainda mais sendo tropical e subtropical, possuindo grande facilidade na remediação de áreas degradadas, com maior aplicação em controle dos processos erosivos, isto em virtude de possuir inúmeras raízes e fibras cilíndricas, capazes de atingir uma profundidade de 3 m, algumas chegam até a 5 m de alcance, isto proporciona uma elevada resistência a períodos de seca e ao forte poder das enxurradas, fazendo com que fiquem acopladas ao solo (CAZZUZZI et al., 2005; BOLETIN VETIVER NÚMERO 14, 2006; MICKOVSKI e VAN BEEK, 2009; SALIN 2005; TRUONG, 2002; TRUONG e LOCH, 2004). Trabalhos feitos com o capim vetiver apontam resultados satisfatórios, foi possível reduzir a taxa do solo erodido e do escoamento superficial em 50% e 70% em comparação a agricultura convencional (PHIEN e TAM, 2007).

Figura 21. Linhas de vetiver em perfilhamento na Fazenda Guarará, Santana dos Montes-MG.



Fonte: COUTO (2010).

Figura 22. Exemplar de capim vetiver com 2 anos de idade mostrando seu sistema de raízes.



Fonte: COUTO (2010).

3.3.5 Geossintéticos

Os Produtos em Rolo para Controle de Erosão (PRCEs), mais conhecidos como geossintéticos ou ainda biomantas antierosivas recebem uma classificação de degradáveis ou não degradáveis (AUSTIN; DRIVER, 1994 et. al. COUTO, 2010).

Hoje em dia estas biomantas se tornaram produtos manufaturados, produzidos através das mais diferentes matérias-primas, como fibra de coco beneficiada, algodão, trigo, turfa, palhada formada por sobras de culturas agrícolas e milho. Estes geossintéticos são normalmente tecidos em material sintético, formado por polietileno, náilon, polipropileno e demais produtos utilizados na amarração dos vegetais (PEREIRA; COELHO, 1998 et. al COUTO, 2010).

Segundo Mandal (1994) a aplicação das biomantas não se limitam somente ao recobrimento do solo, elas podem ser utilizadas também em trabalhos de drenagem sub-superficial e superficial, construção de estradas, proteção de recursos hídricos e contenção de erosão.

Couto (2010) apresenta algumas características básicas dos PRCEs:

- Permeabilidade: por serem formadas por materiais fibrosos, estas biomantas são altamente permeáveis, permitindo a absorção de até quatro vezes o peso do produto seco. Assim, possibilita a retenção ou ancoramento de sedimentos, promovendo um ambiente úmido com bastante substrato, favorecendo o crescimento de vegetais.
- Isolamento: para terrenos com estruturação deficiente, este produto auxilia na diminuição da emissão de particulados para a atmosfera; as biomantas por proporcionarem um isolamento térmico, também auxiliam no combate aos danos oriundos das geadas.
- Proteção do solo superficial: por se manterem em contato direto com o solo, as biomantas degradáveis servem como dissipadores de energia e criam obstáculos para o escoamento, evitando assim o escoamento superficial da água, eliminando a erosão; também auxiliam nas erosões provocadas pelas chuvas e carreamento de vegetações.
- Integração ambiental: apresentam harmonia com o ambiente em que for instalada, isto porque são 100% degradáveis e programáveis. Por exemplo, em um local que necessita de uma rápida intervenção por não possuir cobertura vegetal, pode-se utilizar um produto com degradação mais lenta e uma gramatura mais alta, assim se pode fazer o contrário, utilizar uma manta com gramatura baixa e decomposição rápida para locais que já possuem certa vegetação.
- Baixo custo: por serem compostos por materiais com fibras e resíduos de agricultura, esta técnica possui um custo menos em comparação com as técnicas tradicionais de bioengenharia.

Os PRCEs são acondicionados em bobinas. Para a aplicação, deve-se iniciar no topo do talude, e ir desenrolando a bobina, moldando-a e fixando-a sobre uma vala escavada de 10 cm x 10 cm, deixando 20 cm ultrapassado depois da valeta.

Para realizar a ancoragem das biomantas, é necessário o seu grampeamento no fundo da vala e logo em seguida manualmente se aplica o solo compactado. Aplica-se sementes e fertilizantes, os 20 cm excedentes da manta são dobrados para executar a sua fixação através de grampos, respeitando os 40 cm de espaçamento no decorrer de toda a largura da biomanta.

Figura 23. Bobinas de biomantas, produzidas através de palha agrícola e fibra de coco.



Fonte: Couto (2010).

Figura 24. Biomanta sendo aplicada em talude de corte.



Fonte: Couto (2010).

Figura 25. Talude com biomantas antierosivas já aplicadas.



Fonte: <http://www.cadigeo.com.br/conteudo.php?t=Biomanta%20Fibra%20de%20Coco&id=48>

3.3.6 Paliçadas de madeira

Segundo Couto (2010) as paliçadas aplicadas para contenção de processos erosivos são proteções que necessitarão ser construídas em áreas estreitas que possuem erosões lineares de pequeno e médio porte, onde não há uma concentração de escoamento superficial ou um afloramento permanente ou intermitente.

O local é que indicará e dimensão que deverá ser calculada a paliçada, podendo ter forma simples ou dupla. Uma paliçada deve possuir uma distância da outra que seja suficiente para que na jusante a altura máxima seja do mesmo nível da base a montante da paliçada, esta diferença de altura deverá ser preenchida por sedimentos (COUTO, 2010).

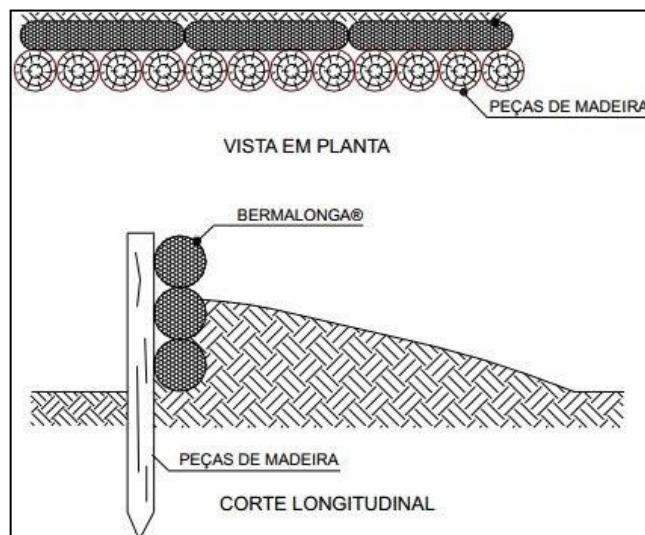
Segundo Pereira (2005) et. al Couto (2010), a madeira utilizada para a construção das paliçadas pode ser roliça, de bambu ou dormentes. As mais usuais são feitas de madeiras impermeabilizadas e devem ser oriundas de áreas de reflorestamento. Os varões de madeira podem ser de diferentes dimensões, variando conforme o tamanho da erosão. A fixação e disposição das peças devem ser vertical, formando a montante um ângulo de 15° com o pé das madeiras, estas por sua vez necessitam estar totalmente próximas umas das outras a fim de evitar frestas; havendo alguma disparidade entre as peças, elas deverão ser aparadas.

Couto (2010) relata que para realizar a fixação das peças de madeira, deve-se escavar uma vala que sua profundidade seja 50% do comprimento das peças, estas valas ainda devem estar todas alinhadas, evitando o zig-zag na sua construção. Além disso, caso o solo não possua uma boa coesão, se faz necessário a utilização de outras técnicas para realizar a fixação da paliçada, como o concreto e outros mourões aplicadas horizontalmente no pé das paliçadas verticais. A fixação desta técnica de bioengenharia pode ser realizada através de bate-estacas, manualmente ou até mesmo com a concha da escavadeira hidráulica.

No lado em que as paliçadas se encontram com o solo, a fim de evitar que os sedimentos ultrapassem pelas frestas, deverá ser instalado os retentores de

sedimentos (bermalonga), conforme pode ser verificado na **Figura 26** (COUTO, 2010).

Figura 26. Vista em planta e corte da aplicação da técnica de paliçadas de madeira.

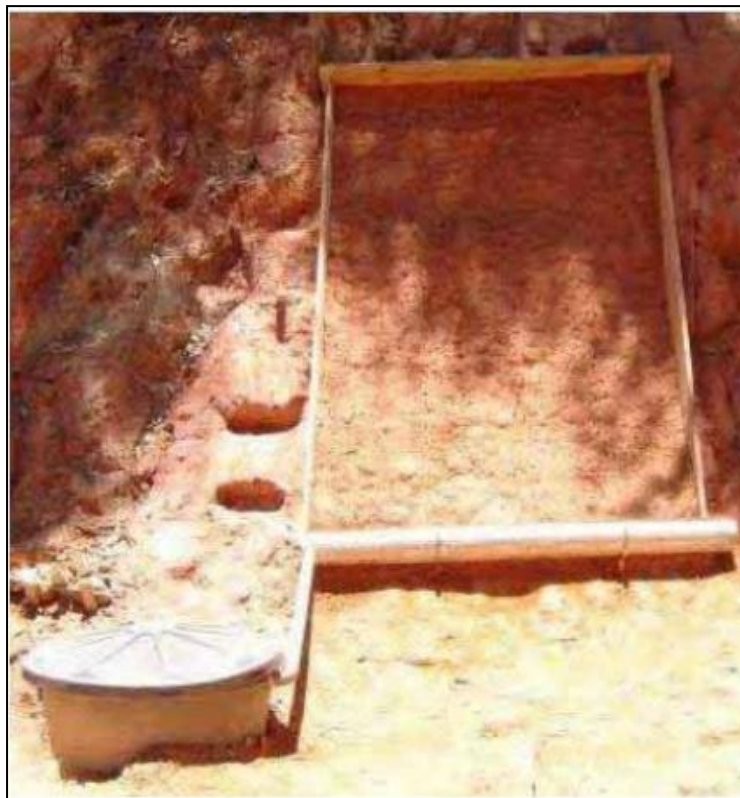


Fonte: <https://sites.google.com/site/langeotecnicaefundacao/contato/46-biomantas?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

3.3.7 Envolvimento

Segundo Silva (2009) esta técnica de envolvimento consiste no revestimento de um talude com solo compactado para resistir melhor a erosão. Tal forma de bioengenharia é aplicada em locais já atingidos por processos erosivos, proteção de taludes ou envolvimento de aterros. Esta técnica possui como característica a proteção superficial do terreno, tendo maior capacidade de suportar os efeitos da chuva.

Figura 27. Compactação manual de solo diretamente no talude.

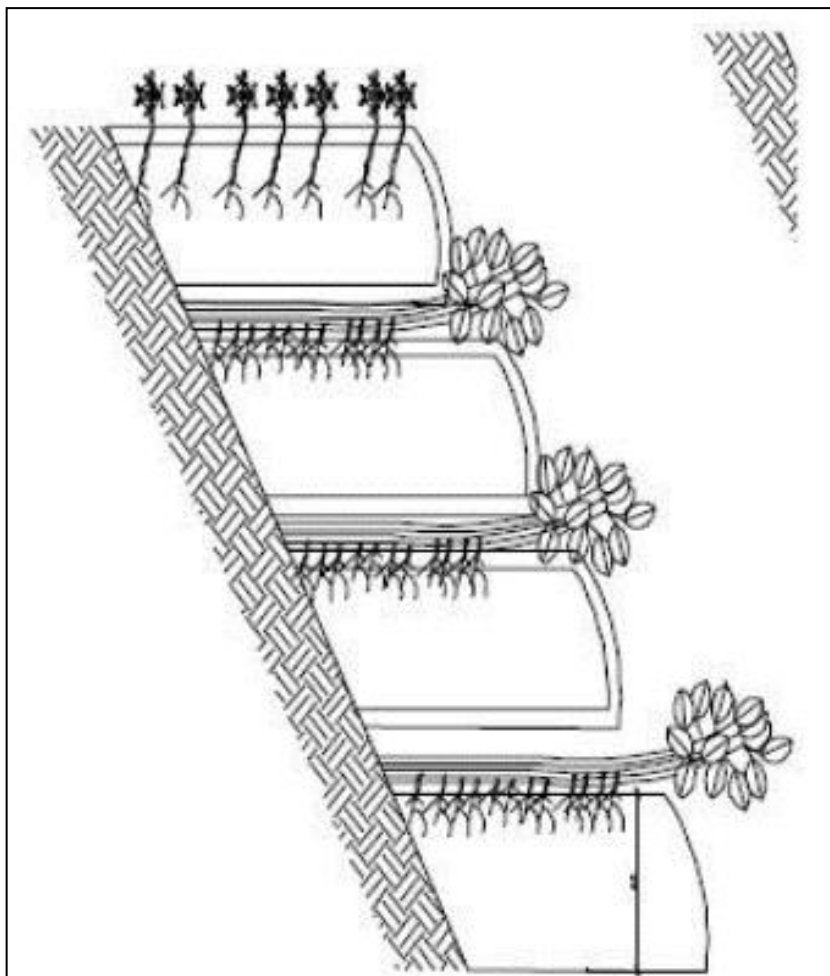


Fonte: SILVA, 2009.

As vantagens desta técnica estão ligadas principalmente por ser composta de materiais biodegradáveis, conseguindo reduzir o impacto visual e ambiental, também é uma técnica de rápida execução e que permite a utilização de solo local, reduzindo ainda mais o seu custo operacional (NETO, 2012).

Para empregar o solo envelopado com a biomanta, é preciso posicionar a manta vegetal excedendo além do trecho, aplica-se um nível de solo compactado com altura aproximada de 50 a 60 cm sobre a biomanta. Após este procedimento, aquilo que estava excedente da manta, coloca-se sobre o aterro executado, misturando a camada de solo recém compactado. (COUTO, 2010). A repetição desta sequência se dá até o talude estar totalmente protegido. Para melhorar a ancoragem do solo, podem ser implantadas entre uma camada e outra do solo as estacas vivas, e na superfície externa pode-se lançar sementes, que também auxiliarão na ancoragem do solo.

Figura 28. Solo envelopado com utilização de biomanta e estacas vivas.



Fonte: COUTO, 2010.

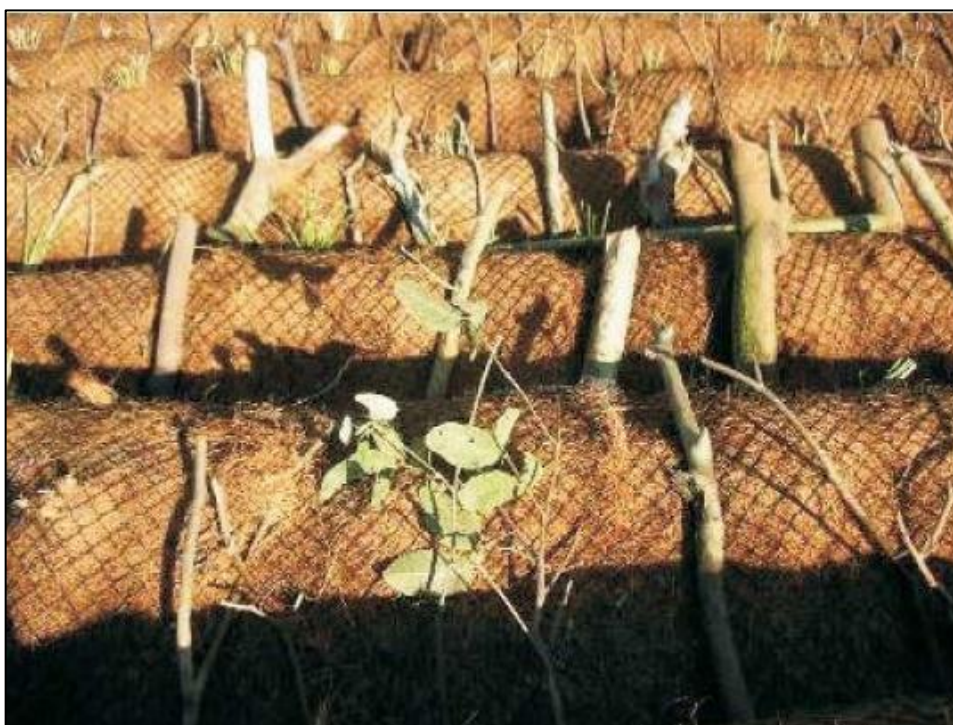
3.3.8 Madeira e estacas vivas

A madeira pode ser aplicada concomitante com a vegetação em diversificadas técnicas de bioengenharia (COPPIN; RICHARDS, 1990; McCULLAH, 1994; GRAY; SOTIR, 1996; SCHIELTZ, 1996 et. al COUTO, 2010) (**Figura 29**). Diversas vezes os gravetos ou madeiras que são utilizados para exercer atividades de estrutura podem provocar enraizamento, exercendo assim funções biologicamente ativas, recebendo o nome de estacas vivas (COUTO, 2010).

A prática de estacas vivas ou madeira como forma de sistemas biotécnicos combinadas com outras alternativas de bioengenharia, propicia uma melhor

proteção de taludes de córregos e rios, recuperando áreas que sofreram processos de voçorocamento, ravinamento e sulcamento; podem ser aplicadas também em taludes de corte e aterro como forma de contenção; utilização em estruturas de gabiões, sistemas modulares, enrocamento, paliçadas e sistemas de solo-reforçado (COUTO, 2010).

Figura 29. Utilização de madeira e estacas vivas para revitalização de solo – Rio das Velhas, Santa Luzia – MG.



Fonte: COUTO (2010).

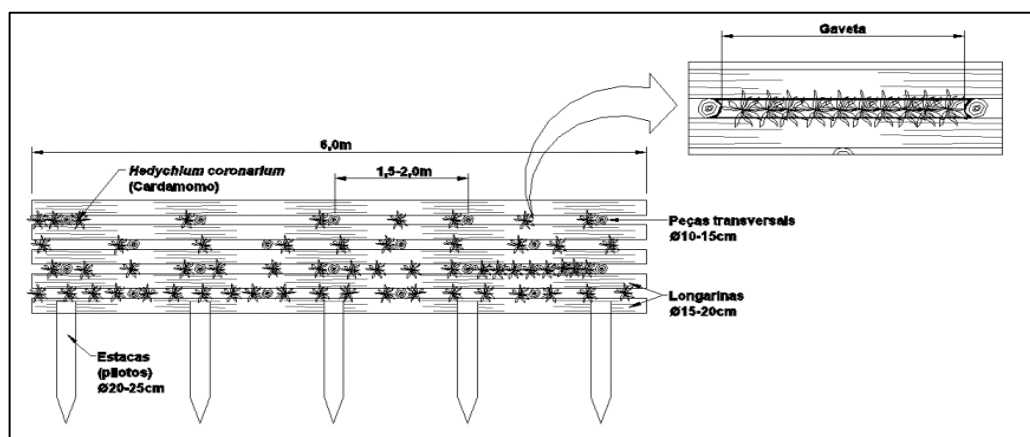
A vegetação a ser proposta para a técnica de estacas vivas deve possuir elevada resistência às bruscas modificações das condições ambientais; raízes finas e extensas; alto percentual de crescimento vegetativo; ramos resistentes e flexíveis contra abrasões e lesões; raízes tolerantes a exposição ao ar; fácil manejo (poda); tolerância à doenças e pragas, e sobretudo maior capacidade de fixação da raízes a parti de estacas (COUTO, 2010).

3.3.9 Parede de Krainer

A técnica da Parede de Krainer é mais utilizada para estabilizar e reconstruir as margens fluviais expostas aos processos erosivos, em recursos hídricos com média e alta velocidade, não deixando de citar o carregamento de sedimentos sólidos com média granulometria. Existem duas formas de Parede de Krainer, a simples e a dupla. O modelo simples é indicado para áreas com possibilidades limitadas de escavações (SANGALLI, 2008), e segundo Cornellini (2001) a parede simples é mais utilizada quando a estabilização é a principal característica após a desestabilização.

Para que a Parede de Krainer seja construída, é imprescindível que na área onde necessita-se a futura margem, se finque até a altura da água, estacas de madeira piloto. Com a intensão de que esta técnica trabalhe solidariamente, é necessária sua amarração e pregar as estacas junto com as peças transversas, estas também estarão pregadas junto as longarinas. Para aumentar o reforço da Parede de Krainer, pode-se colocar rochas de elevada velocidade limite. A vegetação viva é implantada nas “gavetas” existentes no meio das longarinas e das peças transversais, anexadas com o sistema radicular voltado para a barranca do rio e recoberta com terra (MASTELLA, 2012).

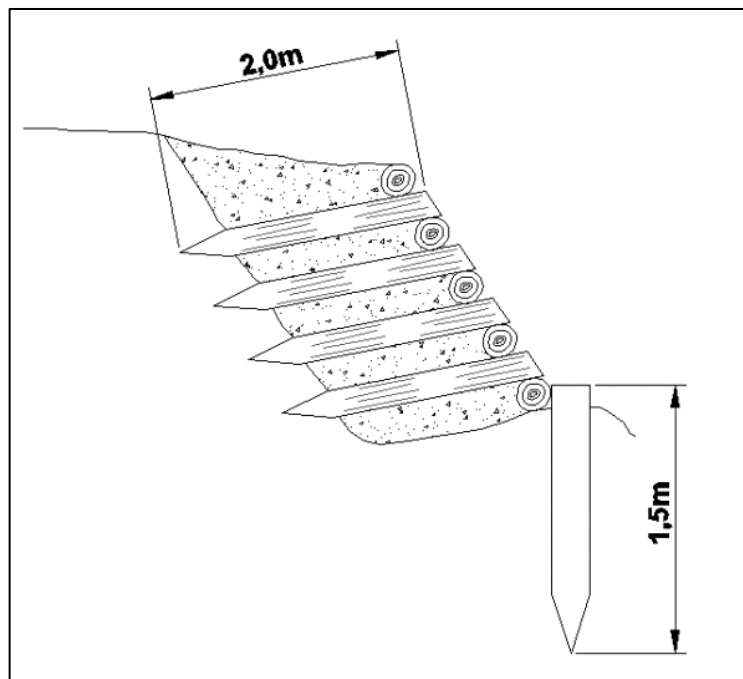
Figura 30. Vista frontal da construção da Parede de Krainer, com ênfase para a nomenclatura “gavetas” – que corresponde a área onde são anexados os feixes vivos.



Fonte: (MASTELLA, 2012).

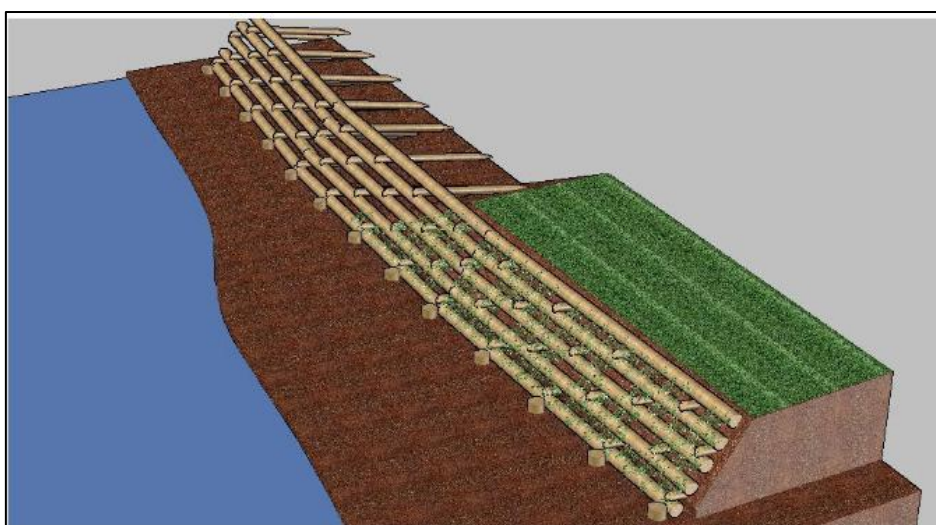
A **Figura 31** ilustra a parede de Krainer simples em visualização transversal. Após a reconfiguração do talude, para facilitar a fixação no terreno os varões transversais são apontados, o mesmo procedimento acontece para as peças piloto (MASTELLA, 2012).

Figura 31. Corte transversal da parede de Krainer simples.



Fonte: (MASTELLA, 2012).

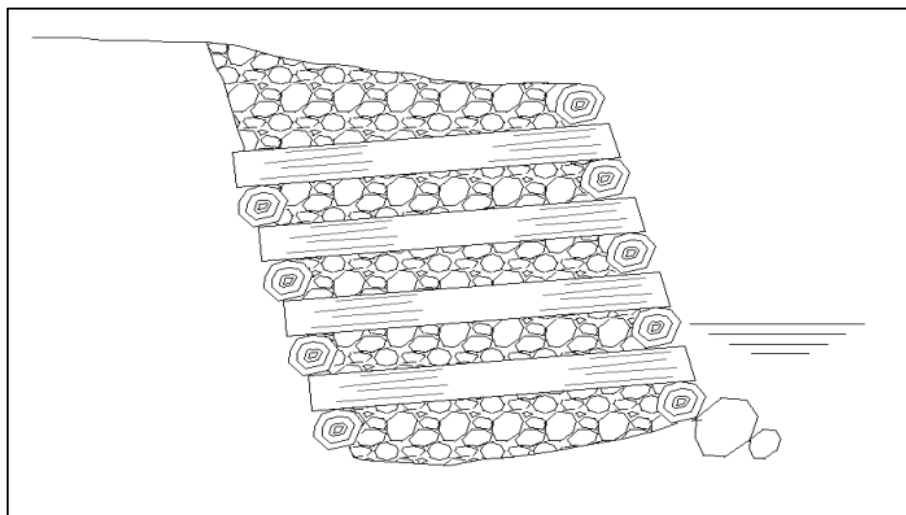
Figura 32. Vista tridimensional da construção da parede de Krainer.



Fonte: <http://ecoinovar.com.br/cd/artigos/ECO094.pdf>

Segundo Mastella (2012), existe ainda a possibilidade de construção da parede de Krainer dupla, conforme ilustra a **Figura 33**.

Figura 33. Corte transversal da parede de Krainer dupla.



Fonte: (MASTELLA, 2012).

3.4 Dimensionamento de estruturas biotécnicas

Quando forem executadas obras onde sejam aplicadas estruturas de bioengenharia, é indispensável que seja respeitado um critério: utilizar a menor quantidade de tecnologia para a remediação dos problemas (VENTI, 2003).

Segundo Durlo e Sutilli (2005) para grande parte das estruturas de bioengenharia utilizadas para a remediação de recursos hídricos, legalmente não é exigido, e também não foram criadas formas matemáticas precisas para seu dimensionamento. Diversas obras consideradas de pequeno porte são executadas apenas com a experiência prática, sem que haja necessidade de apresentação de dados matemáticos para comprovação de estabilidade, este fato é verificado a medida que a quantidade de objetos vivos utilizados nas obras de prevenção ou correção aumentam.

Mesmo não sendo obrigatório o dimensionamento estático de diversas obras de bioengenharia (DURLO; SUTILI, 2005), e que a maioria das bacias hidrográficas

consideradas menores dificilmente possuírem dados contabilizados de velocidade e vazão, é possível utilizar algumas fórmulas para calcular determinadas variáveis, umas delas é a de Strikber, que viabiliza o cálculo da velocidade média da água, levando em consideração a cheia de maior magnitude registrada no local (BARRO, 2011; BATISTA, 2010).

Equação 5. Equação da Velocidade Média de Escoamento

$$V = KR^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{5}} \quad (5)$$

Sendo:

V: Velocidade média (m/s);

K: Coeficiente de rugosidade ($1/n$, onde “n” é a rugosidade de Manning tabelado);

R: Raio hidráulico (m) (proveniente da relação entre a seção transversal (m^2) com o perímetro molhado); e

I: Inclinação do terreno

Conforme ilustrado, com a **Equação 5** pode-se obter a velocidade média de escoamento, esta variável é de suma importância para dimensionar o limite de transporte (DLT) de blocos/pedras (BARRO, 2011) a serem empregadas nas seguintes técnicas de bioengenharia: espigões transversais ou râmprolas, defletores e enrocamento vivo. Para dimensionar a DLT existe a **Equação 6**, apresentada por Barro (2011), adaptada de Durlo e Sutili (2005).

Equação 6. Equação de Dimensão do Bloco

$$b = \frac{V^2}{14} \quad (6)$$

Sendo:

b = Maior dimensão do bloco (m);

V = Velocidade média (m/s); e

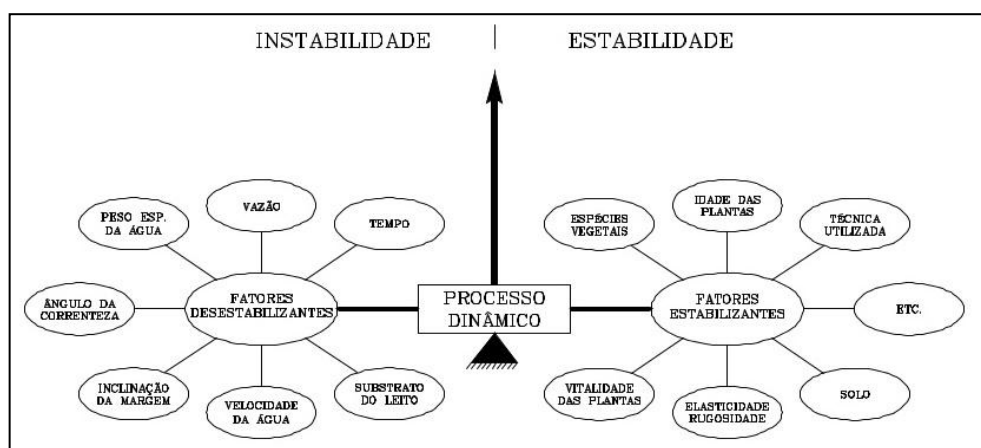
14 = constante

Sendo adotado as constantes de 1000kg/m^3 para peso específico da água; 2400kg/m^3 o peso específico dos sedimentos; 0,76 para o coeficiente de atrito e 1,46 para o material anguloso.

Segundo Barro (2011), utilizando a **Equação 6** se obtém o valor da DLT, que em uma ocasião parecida com a cheia de maior magnitude, mostra que o curso da água, na seção analisada, possui capacidade de arrastar qualquer bloco que possuir uma dimensão inferior ao valor encontrado para b.

Mesmo os métodos ilustrados à cima serem de significativa importância para algumas tipologias, para as demais prevalece a falta de metodologias comprovadas, tornando assim o entendimento da influência dos inúmeros fatores aplicados na dinâmica do processo como uma ferramenta muito importante para a aplicação das obras de bioengenharia de solos. Durlo e Sutili (2005) trazem ainda na forma de esquema (**Figura 34**) uma balança que tem como função determinar a estabilidade das obras biotécnicas através de um conjunto de fatores.

Figura 34. Balança que determina o nível de estabilidade das obras biotécnicas.



Fonte: Durlo e Sutili (2005).

Os autores alertam ainda que através da **Figura 34** é possível analisar que, se houver a alteração de algum dos fatores relacionados, isto influenciará para que a balança se movimente a favor da instabilidade ou da estabilidade, e que as obras de bioengenharia terão o trabalho de sempre manter este ponteiro na área da estabilidade. Além do que a bioengenharia, através das forças de resistência pode contribuir significativamente para o aumento da estabilidade das obras. Concluindo,

Durlo e Sutili (2005) confirmam que as técnicas de bioengenharia têm por finalidade agrupar diferentes formas de combate aos danos provocados ao meio ambiente, de modo que as forças que compõem a resistência predominam sobre as demais, que trabalham em direção a deformação e conseqüentemente a instabilidade.

3.5 Gerenciamento dos custos de uma obra de engenharia

Para Mattos (2006) o custo de uma obra está relacionado diretamente com alguns aspectos:

- Definições técnicas: áreas com diversificados projetos, como projeto estrutural, arquitetônico, de instalações e demais projetos que necessitam de plantas de cortes, detalhes, baixas que permitem maior destaque, quadros e detalhes técnicos que indicam qualitativamente os objetos que serão utilizados, aceitação de serviços, padrões de qualidade, resistência dos materiais entre outros.
- Quantitativos dos serviços: uma fase de extrema relevância nos orçamentos, pois uma falha pode gerar falta de verbas, extrapolando um orçamento já previsto ou até mesmo inviabilizar uma obra já prevista. O quantitativo é feito com o auxílio dos projetos citados acima, onde são previstos os cálculos de volumes, áreas, quantidades lineares, pesos e definições técnicas relatadas, sendo que alguns tipos de trabalhos são considerados adimensionais, que são previstos através da contagem, um exemplo, número de estacas, mudas de espécies vegetais entre outros.
- Cotação dos valores de insumos: para a realização dos serviços diretos de uma obra, são exigidos os devidos equipamentos, mão de obra e materiais que são insumos que compõem um trabalho.

Segundo Goldman (2004) a organização dos custos pode ser feita com o controle da obra, realizado com as anotações de campo. O autor ainda lembra a importância de manter as composições atualizadas quanto as técnicas novas que potencializam os serviços, através da redução de custos e prazos.

Para a cotação de preços, Dias (2006) expõe que por causa dos detalhes existentes em cada obra, o custo é por região, ou seja, valores de materiais e mão de obra podem variar em cada região. Já para os valores de insumos, quando estes estão próximos, pode-se adotar um valor médio, a fim de evitar inúmeros orçamentos (MATTOS, 2006).

O controle dos custos passa por três fases, relacionadas com estimativa, orçamento e gerenciamento de custos, que possuem como principal objetivo que a obra chegue no final com os custos de acordo com o que foi orçado. Portanto, gerenciar custos é manter o orçamento atualizado através dos custos reais registrados (PMBOK4, 2009).

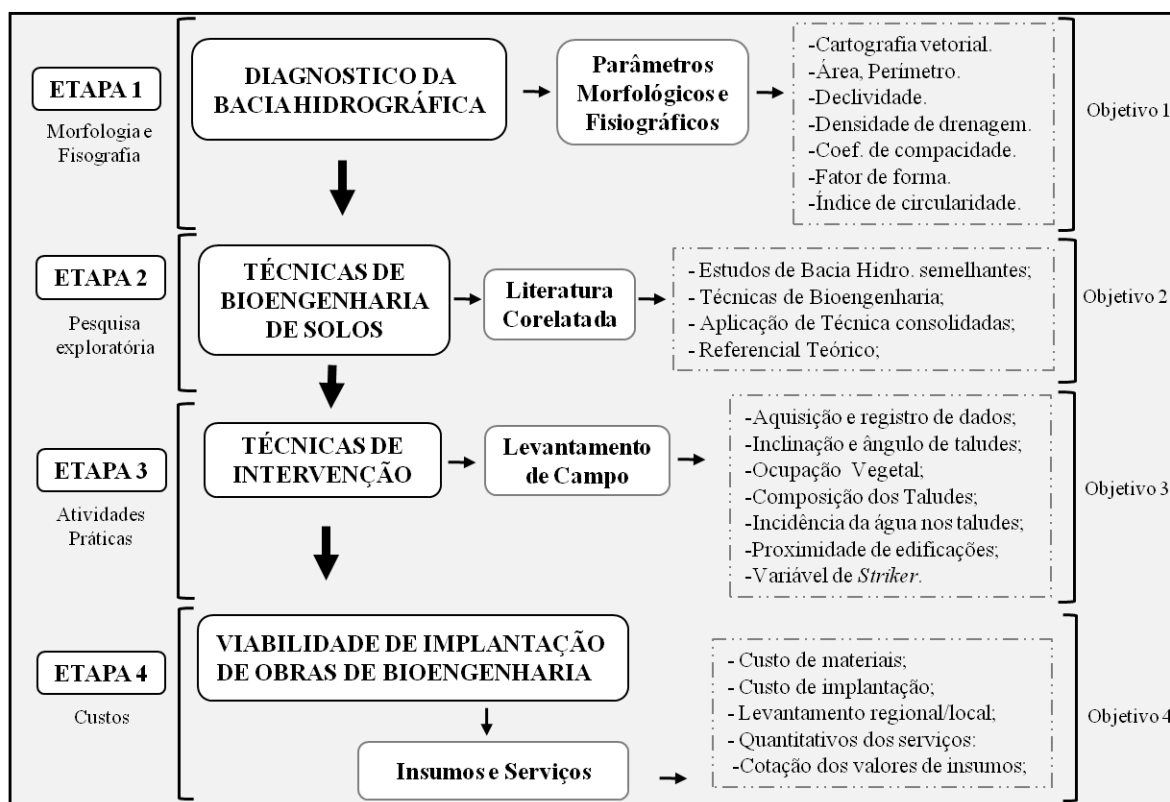
Antes do início das obras, já se deve possuir o controle dos custos da atividade, isto na fase dos orçamentos, onde este processo realiza e determina as estimativas dos gastos previstos para executar a obra (MATTOS, 2006). Ainda Backer e Jacobsen (1972) confirmam a significância do gerenciamento de custos, evidenciando que não basta somente o planejamento, pois podem aparecer eventos fora do propósito original, mas que necessitam ser sanados.

4 METODOLOGIA

O método de pesquisa para a realização deste estudo foi dividido em quatro etapas, buscando atender aos objetivos propostos. Na Etapa 1, busca-se conhecer os parâmetros morfológicos da Bacia Hidrográfica do Arroio Tamanduá, através de aspectos fisiográficos. Na Etapa 2, dispendeu-se esforços ao conhecimento de técnicas de bioengenharia de solos, avaliando aspectos técnicos para implantação, segundo diferentes estudos aplicados.

A atividade de campo integrou a Etapa 3, para levantamento de áreas constantemente atingidas e degradadas pela ação das águas do arroio Tamanduá. Finalmente, na Etapa 4, buscou-se conhecer a melhor opção para o contexto do estudo, relacionado a obras de Bioengenharia, com possibilidade técnica e econômica de implantação, segundo as características locais. Na **Figura 35** a seguir, demonstram-se as etapas sequenciais.

Figura 35. Organização metodológica por etapas.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1 Diagnosticando a Bacia Hidrográfica o Arroio Tamanduá

Os parâmetros morfológicos são todas as informações que podem ser obtidos através da fisiografia. Basicamente se trata de dados físicos específicos, como comprimento, área, perímetro, declividade, além do uso e cobertura do solo. Todos estes dados podem ser extraídos diretamente ou evidenciados por índices (TUCCI, 2004, p.45).

Para extrair parâmetros morfológicos como a área, comprimento, perímetro e valores de cotas altimétricas, foi utilizada a cartografia vetorial do Ministério do Exército-Departamento de Engenharia e Comunicações – Diretoria de Serviço Geográfico – Região Sul do Brasil, em escala de 1:50.000, restituídas pelo Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

As cartas utilizadas são pertinentes aos municípios de Marques de Souza (FOLHA SH. 22-V-D-I-4; MI – 2951/4), Sério (FOLHA SH. 22-V-I-3; MI – 2951/3), Progresso (FOLHA SH. 22-V-D-I-1; MI – 2951/1) e Nova Brescia (FOLHA SH. 22-V-D-I-2; MI – 2951/2).

A restituição das cartas topográficas para extensão KML (*Keyhole Markup Language*), permitem a sobreposição em imagens de satélite, disponíveis no *software* livre Google Earth Pro, possibilitando desta forma, a delimitação da Bacia, recurso hídrico principal e afluentes, conseqüentemente a extração de parâmetros como área, perímetro, declividade, número e extensão de recursos hídricos. Na Tabela 2, apresenta-se os métodos e bibliografia utilizada para a primeira etapa.

Tabela 2. Métodos e bibliografia aplicados na primeira etapa.

Métodos	Bibliografia
➤ Cartografia vetorial da Região Sul do Brasil em escala 1:50.000;	✓ Cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército, Folhas: SH-22-V-D-I-1 MI-2951/1; SH-22-V-D-I-2 MI-2951/2; SH-22-V-D-I-3 MI-2951/3; SH-22-V-D-I-4 MI-2951/4;
➤ Parâmetros morfológicos (área, perímetro, declividade, número e extensão de recursos hídricos, velocidade de escoamento e vazão).	✓ Departamento de Cartografia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM; ✓ https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html
➤ Equações de densidade de drenagem, coeficiente de compacidade, fator de forma, índice de circularidade.	✓ Durlo; Sutili, (2005); - Sutili (2004); ✓ Silveira, (1993); - Lima (2008); ✓ Ferreira (2010); - Reis (2011);

Fonte: Autor.

A partir dos dados extraídos, foram calculados Índices Morfométricos a seguir exemplificados e utilizados nos estudos destacados na **Tabela 2**:

Desidade de Drenagem (DD):

$$DD = \frac{L}{A}$$

Equação 1

Sendo:

DD = densidade de drenagem (Km/Km²);

L = comprimento total de todos os canais (Km); e

A = área da bacia hidrográfica (Km²);

Coeficiente de Compacidade (Kc):

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 2

Sendo:

Kc = coeficiente de compacidade;

P = Perímetro da bacia (Km); e

A = Área da bacia (Km²)

Fator de Forma (kf):

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Equação 3

Sendo:

Kf = Fator de forma;

A = Área da bacia (Km); e

L = comprimentos do eixo da bacia (Km):

Índice de Circuncidade (IC):

$$Ic = 12,57 \frac{A}{p^2}$$

Equação 4

Sendo:

A = Área da bacia (Km²); e

P = Perímetro (Km);

4.2 Técnicas de bioengenharia de solos

Para segunda etapa, buscando ampliar o conhecimento das aplicações e técnicas voltadas à bioengenharia de solos, foram conduzidas pesquisas

bibliográficas realizadas em artigos acadêmicos, livros, dissertações de mestrado e trabalhos realizados e publicados, inerentes a recursos hídricos, considerados dados semelhantes aos da Bacia do arroio Tamanduá. Na **Tabela 3** a seguir, foram sintetizadas as fontes de consulta.

Tabela 3. Métodos e bibliografia aplicados a segunda etapa.

Métodos	Bibliografia
➤ Estudos de micro-bacias semelhantes;	✓ Racin (2000) Holanda (2008); ✓ Mccullah, (1994); Gray; Sotir, (1996); ✓ Schieltz, et. al (2006); Couto, 2010);
➤ Estudos de micro-bacias semelhantes;	✓ Coppin; Richards, (1990); Sangalli, (2008); ✓ Minghan e Eddleman (2002);

Fonte: Autor

O conhecimento sobre as técnicas utilizadas em diferentes obras de bioengenharia citadas, objetivou conhecer além das tipologias de técnicas, verificar as condições para aplicação, segundo as condições de degradação. Na **Tabela 4**, está sintetizada a aplicação das diferentes metodologias voltadas a Bioengenharia.

Tabela 4. Técnicas e aplicações de Bioengenharia de Solos.

Técnicas de Bioengenharia	Aplicação	Bibliografia
Enrocamento, RSP (<i>Rock Slope Protection</i>) ou "RIPRAP".	✓ Controle dos processos erosivos; ✓ CONTENÇÃO de Taludes; ✓ Diminui ação de correntes.	Racin (2000).
Enrocamento com estacas vivas.	✓ Controle de processos erosivos e contenção de taludes.	Minghan e Eddleman (2002).
Utilização de vegetação.	✓ Controle erosivo; ✓ Perda de solo.	Holanda (2008).

Técnicas de Bioengenharia	Aplicação	Bibliografia
Paliçadas de Madeira.	✓ Controle erosivo linear (sem concentração de escoamento).	GRAY; SOTIR (1996).
Parede Kariner.	✓ Estabilização de margens (médias e altas velocidades de escoamento).	Sangalli, (2008).

Fonte: Autor

4.3 Técnicas de intervenção

Cessadas as Etapas 1 e 2 e buscando propor a metodologia de bioengenharia de solos que melhor se enquadra para remediação de margens erodidas do arroio Tamanduá, foram conduzidos levantamentos de campo. Durante a atividade prática para aquisição e registro de dados, foram utilizados molinete hidrométrico marca JCTM, modelo MLN-7, máquina fotográfica, trenas de 5 metros e 30 metros, GPS de navegação e planilhas de anotações, apresentados na **Figura 36**.

Figura 36. Equipamentos utilizados.



Fonte: Autor

O arroio Tamanduá foi percorrido através de estradas vicinais, realizando diversas paradas pré-determinadas após avaliação em imagens de satélite e validação através da verdade terrestre. *In loco* foram identificados pontos erodidos, coletando dados como altura do talude, medidas dos ângulos de inclinação, velocidade de escoamento, ocorrência de vegetação, e ângulo de atrito efetivo da água, composição estrutural do solo dos taludes e proximidades de residências ou demais edificações (ruas, praças, galpões, etc.)

Durante as incursões para avaliação de margens, previu-se a existência de vários pontos erodidos ao longo do arroio Tamanduá. A partir deste contexto, foi desenvolvido um Quadro de critérios, com base nos estudos de Mickovski e Van Beek, (2009), relacionando diversos parâmetros a serem identificados, atribuindo pontuação de “1” a “3” de acordo com as condições locais, conforme apresentado na **Tabela 5**. Desta maneira foi possível verificar os locais com maiores necessidades de intervenção.

Tabela 5. Critérios avaliativos das áreas de intervenção.

Critérios Avaliados	Nota 1	Nota 2	Nota3
Inclinação/ângulo do talude.	Até 25°	25° a 45°	≥ 45°
Vegetação.	100%	Até 50%	≤ 50%
Composição do talude.	Rocha	Sedimentos	Terra
Altura do Talude.	0,1m e 1m	1m e 2m	≥ 2m
Ângulo de incidência de água.	180° a 150°	150° a 110°	110° a 90°
Proximidade de infraestruturas.	Mais de 30m	30m a 10 m	≤ 10m

Fonte: Adaptado de Mickovski e Van Beek (2009).

Os pontos de medida de velocidade com molinete hidrométrico foram realizados no leito principal, nas coordenadas geográficas (WGS-84) 29°15'45.55"S; 52°08'43.86"O e 29°15'40.40"S; 52°09'15.29"O. Este ponto foi escolhido em função da possibilidade de captar a corrente de água de todos os tributários no leito principal.

As coletas destes dados ocorreram em condições climáticas favoráveis, com tempo seco e predomínio de sol intenso. Em virtude da falta de chuva o arroio se apresentava em nível baixo com pouco fluxo de água. A seguir, apresenta-se na

Tabela 6, de forma resumida, os métodos e referenciais utilizados para levantamento de dados *in loco* no arroio Tamanduá.

Tabela 6. Métodos e bibliografia aplicados.

Métodos	Bibliografia
➤ Aplicação de parâmetros morfométricos;	✓ - Durlo; Sutili, (2005); - Sutili (2004);
➤ Coleta de dados <i>in loco</i> (vegetação ciliar, ângulos de inclinação dos taludes, tipo de solo e ângulo de atrito efetivo da água).	✓ - Fisrwg (1998); - Texeira, (2006);
	✓ - Holanda et al, (2001); - Venti, (2003);
	✓ - Silva (2009); - Couto, (2010).
	✓ - Mickovski e Van Beek, (2009);

Fonte: Autor

A partir da obtenção de dados em campo, foi calculada a variável de *Strikber*, que se refere a velocidade média, relacionando área, perímetro molhado e rugosidade (**Equação 5**). Os dados possibilitam dimensionar o limite de transporte – DLT, de blocos/pedras proposto por Barros (2011), exemplificado na **Equação 6**.

Vazão média (m³/s)

$$V = KR^{2/3}I^{1/5} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo:

V: Velocidade média (m/s);

K: Coeficiente de rugosidade (1/n, onde “n” é a rugosidade de Manning tabelado);

R: Raio hidráulico (m) (proveniente da relação entre a seção transversal (m²) com o perímetro molhado);

I: Inclinação do terreno.

Limite de Transporte (DTL)

$$b = \frac{V^2}{14} \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:

b = Maior dimensão do bloco (m);

V = Velocidade média (m/s); e

14 = constante.

4.4 Viabilidade de implantação de obras de bioengenharia

Para quarta e última etapa, visando sugerir técnica(s) de engenharia foi realizada pesquisa de obtenção dos custos dos materiais necessários para a obra e seu custo de implantação. Para tanto, foi realizado um levantamento regional/local com empresas de mineração, madeireiras, locatárias de máquinas, floriculturas, empresas de materiais geotêxteis com o intuito de averiguar os custos e orçamentos de cada material a ser aplicado na execução das obras. Neste contexto, foi desenvolvido uma relação de custos, exemplificado na **Tabela 7**, contendo valores, adequados a realidade regional, para implantação da técnica definida.

Tabela 7. Tabela de custos de materiais, equipamentos e mão de obra.

Material/Equipamento	Unidade	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
Projeto Técnico	Unidade	x	x	X
Matacões (rochas $\geq 0,45$ m)	m ³	x	x	X
Terra	m ³	x	x	X
Estacas de madeiras	m	x	x	X
Tela Galvanizada	m ²	x	x	x
Estacas de árvores nativas	Unidade	x	x	x
Retroescavadeira/operador	Horas	x	x	X
Caminhão Transportador	Dia	x	x	x
Mão de obra	Horas	x	x	x

Fonte: Autor

O processo metodológico sintetizado a seguir, na **Tabela 8** relacionando a bibliografia referencial par este tipo de avaliação, a qual engloba estimativas de custo. Neste sentido buscou-se avaliar as indicações literárias de estudos científicos que relacionam valores quantitativos de serviços e cotações de insumos.

Tabela 8. Métodos e bibliografia aplicados a quarta etapa.

Métodos	Bibliografia
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Quantitativos dos serviços: ➤ Cotação dos valores de insumos 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Mattos (2006); ✓ Goldman (2004); ✓ Dias (2006); ✓ PMBOK4, (2009); ✓ Backer e Jacobsen, (1972)

Fonte: Autor

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

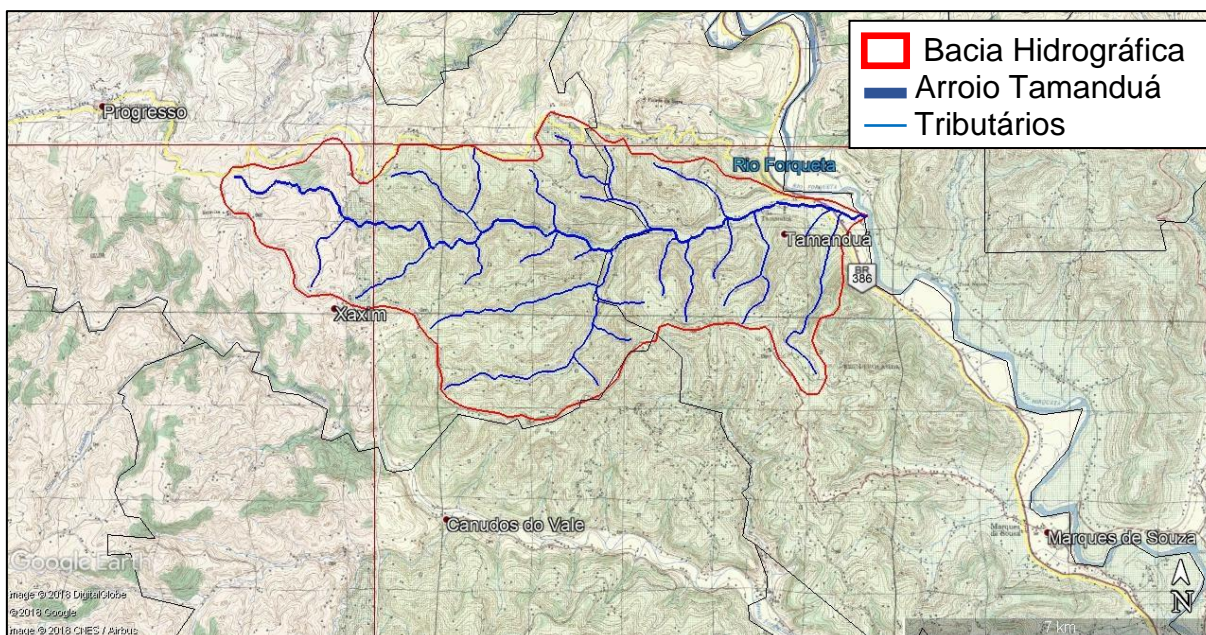
5.1 Morfologia da Bacia Hidrográfica do Arroio Tamanduá

As nascentes do arroio Tamanduá estão localizadas em cotas altimétricas mais elevadas da Bacia, no município de Progresso/RS, a uma altitude aproximada de 650 m. A foz se localiza no rio Forqueta, no município de Marques de Sousa/RS, em uma altitude 64 m, perfazendo assim, uma distância de 16,8 km de leito principal, mensurado entre a foz e a nascente mais distante,

Considerando as áreas de abrangência da Bacia Hidrográfica do Arroio Tamanduá, 67,26 %, localizam-se no território político do município de Progresso e 32,74%, no município de Marques de Sousa. Segundo plano diretor e zoneamento dos municípios citados, 100% da área da Bacia, compreendida em Progresso, corresponde à área rural, enquanto 11% do território em Marques de Sousa se referem à área urbana e 81% a área rural.

Os padrões da rede de drenagem, quanto ao escoamento, são classificados como endorreico. Esta categoria considera a defluência das águas em direção a uma depressão interna do continente. A conformação geométrica de drenagem é dendrítico, onde o leito principal, juntamente com os tributários se assemelham as ramificações de uma árvore (DURLO e SUTILI, 2005).

Figura 37. Delimitação da Microbacia do Arroio Tamanduá, leito e tributários.



Fonte: Autor

Na **Tabela 9**, demonstram-se os parâmetros fisiográficos obtidos, os quais serão utilizados para cálculo de Índices Morfométricos. Destaca-se na Tabela a seguir, a declividade da Bacia, conforme método dos extremos, onde divide-se a diferença total de elevação do leito principal pelo comprimento total do leito principal. O resultado para micro-bacia do arroio Tamanduá (34,88 m/km), reflete a propensão a picos de cheias (CARVALHO; SILVA, 2006).

Tabela 9. Parâmetros fisiográficos da micro-bacia do arroio Tamanduá.

Parâmetro	Resultados
Área Total da micro-bacia (km ²);	52
Comprimento total do leito principal (km);	16,8
Comprimento total da malha hídrica (km);	63,14
Numero total de recursos hídricos;	25
Perímetro total da micro-bacia (km)	39,8
Declividade total (m/km)	34,88

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após a obtenção dos dados fisiográficos, foram calculados os Índices propostos na metodologia apresentada, conforme as equações 1 a 4. O arroio Tamanduá apresenta uma Densidade de Drenagem (DD), mediana, conforme o valor obtido de 1,21, segundo salientam Batista e Dias (2012). A propensão a grandes inundações conforme o Índice de Compacidade (Kc), 1,55 é pequeno, segundo Lima, (2008) e Ferreira, (2010).

O Fator de Forma (Kf), ou Índice de Gravelius acompanha a mesma tendência, ou seja, a micro-bacia não possui tendência a grandes inundações segundo o coeficiente obtido (0,18) e relatado por Lima, (2008). O Índice de Circuncidade (Ic), o qual relaciona área e perímetro, resultou em um valor de 0,41. Ferreira (2010) salienta que, quanto mais próximo de 1, este Índice, mais a Bacia se assemelha a forma circular. Neste caso, este Índice, também corrobora com a baixa probabilidade a grandes inundações, devido ao formato. Todos os valores estão sintetizados na **Tabela 10**.

Tabela 10. Resultados segundo os Índices aplicados.

Índices	Equações	Resultados (adimensionais)
Densidade de Drenagem (DD) (km/km ²)	$DD = \frac{L}{A}$	1,21
Coeficiente de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,55
Fator de Forma (Kf)	$Kf = \frac{A}{L^2}$	0,18
Índice de Circularidade (Ic)	$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2}$	0,41

Fonte: Elaborado pelo Autor

Os Índices Morfométricos da bacia do Arroio Tamanduá forneceram um grupo de dados consistentes. Esses elementos permitem uma melhor interpretação do comportamento hidrológico na região, servindo de base para o monitoramento da bacia hidrográfica, na análise de áreas sujeitas às inundações, aos processos erosivos, e aos picos de cheias, elementos indispensáveis à tomada de decisão para intervenção local e definição de parâmetros para intervenção.

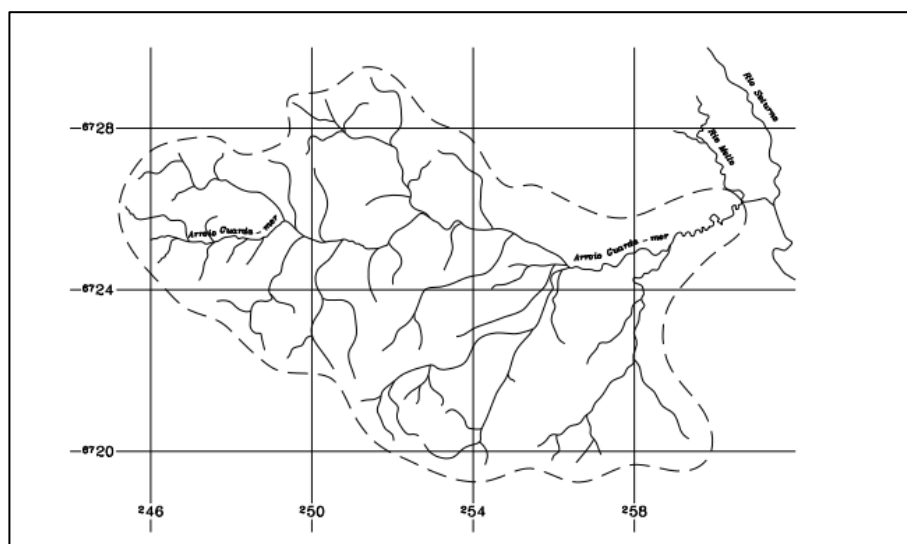
5.2 Técnicas e Aplicações de Bioengenharia de Solo

A partir da metodologia proposta, o contexto deste resultado é o de conhecer e avaliar as técnicas já implantadas, onde as condições morfológicas sejam semelhantes, adquirindo assim, conhecimento quanto a aplicação da bioengenharia no escopo de recuperação de taludes em recursos hídricos.

Sutili (2004) desenvolveu um estudo de caso no Arroio Guarda-Mor, curso hídrico este, com área de drenagem e dimensões semelhantes aos da bacia hidrográfica do Arroio Tamanduá. Assim, este estudo se tornou importante para comparação com o trabalho em desenvolvimento, já que a extrapolação de dados entre bacias semelhantes é uma prática recorrente, como salienta Couto (2010).

Ademais, as técnicas de manejo biotécnico testadas por Sutili (2004), podem ser válidas para o referido estudo. Na **Figura 38**, demonstra-se a área e drenagem do Arroio Guarda-Mor.

Figura 38. Rede de drenagem e bacia hidrográfica de Arroio Guarda-Mor.



Fonte: Durlo e Sutili (2012).

A bacia hidrográfica do arroio Guarda-Mor possui uma densidade de drenagem de 1,3 km/km², enquanto o arroio Tamanduá 1,21 Km/km², ambas consideradas medianas segundo Batista e Dias (2012). Outro dado morfológico semelhante, entre outros, é o comprimento do leito principal do Arroio Guarda-Mor,

que totaliza uma extensão de aproximadamente 18,5 km, enquanto o arroio Tamanduá percorre 16,8 km.

Na expectativa de remediar a degradação das margens do Arroio Guarda-Mor, os autores citados testaram primeiramente a revegetação, utilizando espécies de bambu de grande porte, feito usualmente pelos próprios agricultores. Conclusivamente o processo não demonstrou eficiência. Com o passar do tempo as touceiras apresentam uma característica estética desfavoráveis, além de volume e altura muito exagerados.

Com a incidência dos ventos, as plantas funcionam como alavancas, auxiliando no processo erosivo e na obstrução dos cursos d'água, ao serem tombadas para seu interior. O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) foi outra técnica utilizada, porém igualmente não trouxe resultados satisfatórios, principalmente, devido ao não acompanhamento e manutenção, além do sistema radicular raso.

Outra técnica aplicada para estabilização de taludes fluviais foi a parede de Krainer. O local escolhido para utilização da técnica se caracteriza por apresentar um trecho suavemente curvo (entre 150° e 110° de raio interno), e uma margem instável. O solo possuía composição predominantemente arenosa, em média com 4 metros de altura, e percorrendo cerca de 40 metros ao longo da margem do arroio.

Após a aplicação da técnica de bioengenharia, a estrutura da parede de Krainer se mostrou resistente as chuvas e ao comportamento brusco do Arroio Guarda-Mor. A obra foi construída em janeiro de 2003 e desde então a estrutura passou por diversas precipitações torrenciais. A maior delas ocorreu em 15 de dezembro de 2003, onde observou-se uma precipitação de 220mm em menos de 12 horas.

Na estrutura, ao longo dos seus 40 metros, notou-se que em 4 metros, o solo foi removido. No mesmo trecho algumas estacas menos enraizadas também sofreram alterações pela força da água. Mesmo sofrendo avarias, a estrutura demonstrou uma boa proteção, proporcionando uma estabilização na margem do arroio em 90% do trecho remediado.

A melhor técnica de bioengenharia, relacionada a eficiência, no cenário do arroio Guarda-Mor, foi o Enrocamento (RIPRAP). Esta metodologia, aplicada a taludes erodidos, também foi utilizada no baixo curso do rio São Francisco (HOLANDA, 2009). Apesar de possuir características físicas diferentes do Arroio Tamanduá, o processo erosivo fluvial sobre as margens, possui aspectos semelhantes nos recursos hídricos, de forma geral.

No rio São Francisco, a técnica de enrocamento foi utilizada primeiramente no ano de 1985, e posteriormente nos anos de 1986 e 2001, sendo composta por material granular, e tendo como objetivo afastar o fluxo de corrente das margens do canal fluvial, diminuindo assim a turbulência e a ação da velocidade das águas nos processos erosivos (GLAVÃO, 2006).

Esta técnica teve como finalidade impedir que as ondas provocadas pelos ventos atingissem diretamente a base dos taludes, provocando os chamados solapamentos (GALVÃO, 2006), a técnica ainda auxilia na criação de uma área de deposição de sedimentos localizada a jusante.

O Enrocamento na base dos taludes do rio São Francisco vêm sendo a solução mais eficaz no processo de movimentação de massa daquela localidade. Além de propiciar a estabilidade das margens, a obra vem apresentando um estágio de revegetação natural muito satisfatório, aumentando ainda mais a sua eficiência.

Figura 39. Enrocamento aplicado no baixo Rio São Francisco apresentando revegetação natural.



Fonte: Galvão (2006)

Analogamente, as margens do arroio Tamanduá, em alguns locais, também apresentam processos de solapamento, tornando a base do talude instável. Este processo se caracteriza pelo constante carreamento de solo e sedimentos, por força das águas, conforme apresenta-se na **Figura 40**. Para Galvão (2006), a técnica de enrocamento pode ser uma solução viável, pois resulta em taludes com base sólida e estável, reduzindo a velocidade das águas em eventos de cheias, propiciando ainda a deposição de sedimentos e regeneração da vegetação natural.

Figura 40. Margem do Arroio Tamanduá apresentando processo de solapamento.



Fonte: Autor.

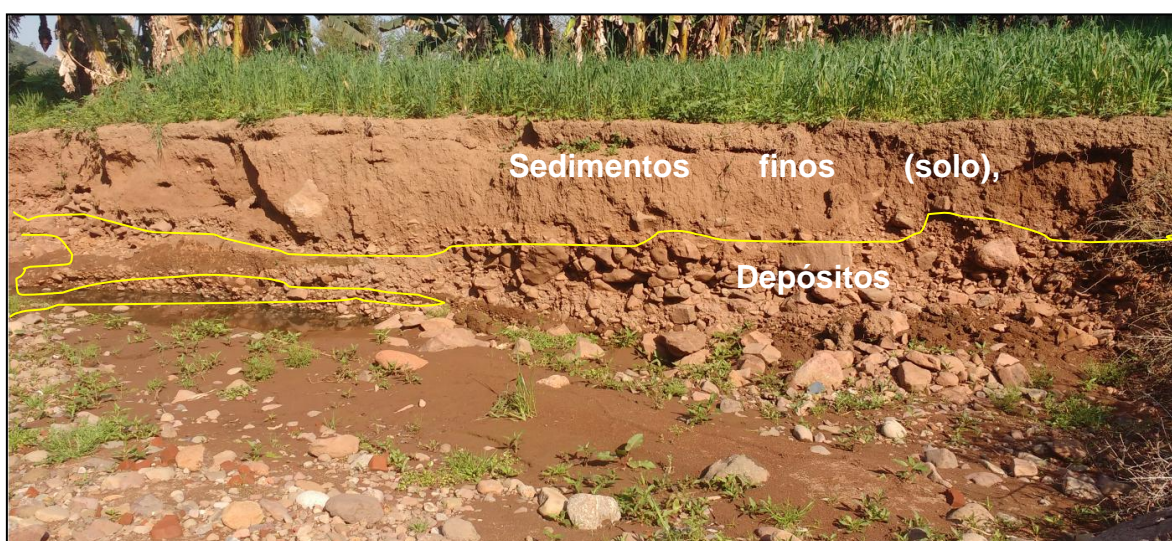
5.3 Diagnóstico local para propor técnicas de intervenção

Diante da metodologia proposta, seguindo a terceira etapa metodológica do trabalho, foi realizada atividade de campo, no dia 21 de abril de 2018. As vistorias pré-determinadas através de imagens de satélites disponíveis no software Google Earth Pro, puderam ser verificadas com a verdade terrestre, resultando na identificação de pontos com maior incidência de erosão na localidade de Tamanduá, município de Marques de Sousa, conforme esperado.

Os demais trechos do recurso hídrico apresentam vegetação ciliar bem preservada e mantida junto às margens, principalmente, frente à declividade do terreno e a característica encaixada do recurso hídrico, nesses trechos. O médio aprofundamento das incisões entre 100 m a 150 m, aliados a alta rede de drenagem, também corroboram com possibilidade de ocorrência de picos de cheias na Bacia Hidrográfica.

Outra constatação é a ocorrência da Unidade de Planícies Alúvio-colvionares, do Domínio de Depósitos Sedimentares do Quaternário, de natureza acumulativa. Na **Figura 41**, apresenta-se esta condição, onde o arroio busca constante conformação, exercendo pressão constante sobre as margens. Neste contexto, trechos onde existe a falta de vegetação natural, e a antropização é dominante, a erosão, conseqüentemente, é recorrente.

Figura 41. Composição da margem no ponto 1 do arroio Tamanduá.



Fonte: Autor.

Ao todo, foram identificados 11 pontos de ocorrência de erosão, todos localizados no distrito de Tamanduá. Conforme salientado anteriormente, esta região caracteriza-se pela urbanização, porém, sem a extinção da prática agrícola e pecuária no entorno. Dos locais mencionados, 4 possuíam inclinação maior que 45° , e em 1, ocorre ausência total de vegetação.

Em 6 pontos há a predominância de solos e depósitos de seixos, enquanto 2 são formados unicamente por solo e 3 por afloramentos rochosos. Três taludes erodidos apresentaram altura superior a 4 metros, assim como a proximidade a residências e estruturas viárias. Em 2 taludes o ângulo de incidência da água, ou ângulo de atrito efetivo foi de 90° .

A partir da coleta de dados descrita anteriormente e da aplicação dos critérios, com base nos estudos de Mickovski e Van Beek, (2009), e exemplificados na **Tabela 11**, apresentado na metodologia deste trabalho, os resultados apontaram para em 3

(três) áreas com as maiores notas, segundo os critérios propostos, onde identifica-se a necessidade de intervenção imediata aos processos erosivos.

Tabela 11. Resultados das áreas com maior pontuação.

Crítérios Avaliados	Área 1	Área 2	Área3
Inclinação/ângulo do talude.	3	3	3
Vegetação.	2	3	2
Composição do talude.	2	3	2
Altura do Talude.	3	3	2
Ângulo de incidência de água.	2	3	2
Proximidade de infraestruturas.	3	3	3
Total das notas:	15	18	14

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados apresentados anteriormente, correspondem as 3 maiores notas obtidas, aplicados aos 11 pontos de erosão identificados. Estes trechos, além de estarem impactados ambientalmente, poderão ocasionar problemas sociais frente a proximidade de residências e estradas, assim como perdas econômicas, como a desvalorização de imóveis, por exemplo. A seguir serão comentados os locais citados.

O primeiro ponto (Área 1), está localizado próximo a BR 386, onde esta, transcende o arroio Tamanduá, nas coordenadas geográficas (WGS-84) 29°15'42.86" S e 52°8'51.34" O. Neste trecho ocorreu a construção de via municipal, transpassando a rodovia, por baixo da ponte, sobre a margem direita do arroio. No mesmo local, obtiveram-se medidas de velocidade com molinete fluviométrico em 8 seções verticais, parâmetro que será discutido na sequência do estudo. A seguir nas **Figura 42 e Figura 43**, apresenta-se a situação atual das margens na Área 1.

Figura 42 e Figura 43. Localização e situação da Área 1.



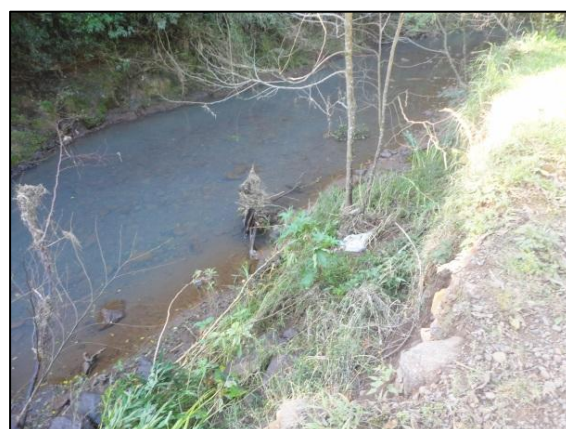
Fonte: Adaptado Google Earth Pro



Fonte: Autor.

Neste ponto de degradação, a margem é formada predominantemente por solo, com deposição pretérita de sedimentos selecionados pelo arroio. A altura do talude é de 3,15 metros, apresentando degradação na extensão de 30 metros. A cobertura vegetal é composta por gramíneas, espécies arbóreas exóticas isoladas e a existência da estrada municipal consolidada junto ao topo do talude, conforme apresenta-se nas **Figuras 44 e 45**.

Figura 44 e Figura 45. Estrada vicinal e talude com ângulo de 82°.



Fonte: Autor.

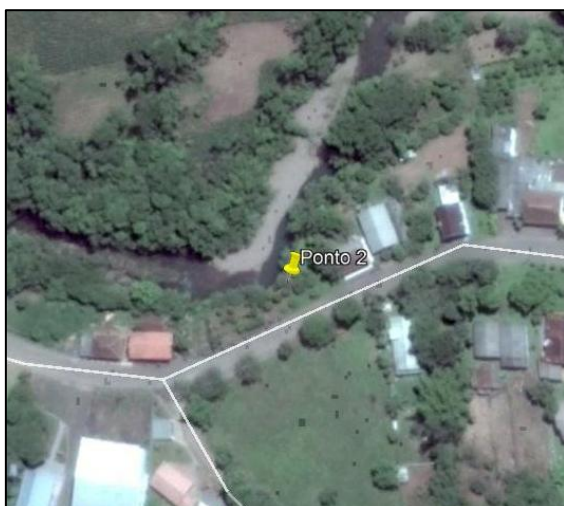
A ausência de vegetação, neste local, acarreta em um talude desprotegido e sem base para sua sustentação. Este tipo de característica favorece ao processo conhecido como solapamento (CARVALHO; GALVÃO, 2006). Neste estágio de degradação, a água do arroio acaba provocando erosões na base do talude,

causando a perda da sua sustentação e consequentemente a queda do mesmo (LIMA, 1998).

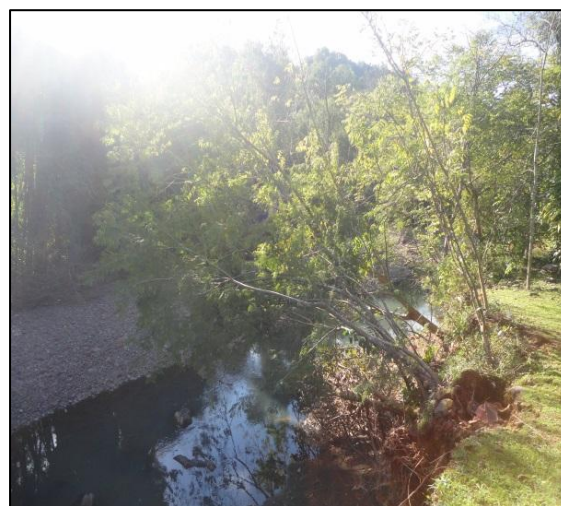
O segundo local, denominado Área 2, está localizado nas coordenadas geográfica (WGS-84) 29°15'41.43"S e 52°9'27.68"O. Neste ponto também se identificou um talude desprotegido na sua base e na superfície, consequentemente ocasionando o mesmo processo de solapamento identificado no ponto 1. Este local o talude evidencia uma formação constituída 100% por solo, sem a presença de seixos. No topo, ocorre a produção de frutas e vegetação rasteira, que não apresentam enraizamento favorável à sustentação e a proteção do talude conforme preconiza Araújo, Almeida e Guerra (2011).

Na Área 2 existe ainda a proximidade com residência familiar e o atrito efetivo da água é o mais severo, entre os pontos identificados (90°). Neste local o processo de solapamento é visível, onde os exemplares frutíferos atuam como alavancas durante as cheias, carregando boa parte do solo superficial durante os desabamentos. Apresenta-se a localização e as condições dos taludes nas **Figuras 46 e 47**.

Figura 46 e Figura 47. Identificação do ponto 2 necessitando de intervenção física.



Fonte: Adaptado Google Earth Pro



Fonte: Autor

Nesta margem, a inclinação também é severa (90°), com um talude de aproximadamente 4,2 metros de altura. O trecho degradado se estende por 25 metros ao longo do curso d'água. O conjunto de atributos do local, denotam características, amplamente favoráveis a erosão em períodos de cheias, frente aos

padrões encontrados neste trecho. Nas **Figuras 48 e 49**, podem ser vislumbrados os resultados dos processos erosivos.

Figura 48 e Figura 49 . Talude com angulação de 90° e o processo de solapamento.



Fonte: Autor.

No local, além de estar ocorrendo degradação da área, existe ainda, reflexo econômico, já que proprietário da área está perdendo terreno a cada enxurrada. Além disso, o risco de atingir a residência se evidencia a cada desmoronamento do talude, fortalecendo ainda mais a necessidade de uma intervenção neste trecho do arroio Tamanduá.

A terceira área está localizada nas coordenadas geográficas (WGS-84) 29°15'51.26"S e 52°10'4.04"O. Nesta localidade, as margens possuem características semelhantes à Área 1, inclusive o resultado do somatório de notas, conforme os critérios estabelecidos. A margem se encontra com uma angulação de 90°, com altura de 3,5 metros.

A composição do talude apresenta horizontes sedimentares, com camada superior de solo. Ocorrem apenas gramíneas, não havendo presença de vegetação arbórea no local, com sistema de enraizamento que forneça sustentação adequada ao talude. Existe uma estrada municipal, localizada na margem direita, além de residências. Nas **Figuras 50 e 51**, apresenta-se a localização da área e as feições do talude.

Figura 50 e Figura 51. Localização do ponto 3 necessitando da intervenção.



Fonte: Adaptado Google Earth Pro



Fonte: Autor.

Assim como na Área 1, na Área 3, o talude está exposto diretamente a ação das águas, resultando na constante perda de solo. Toda a extensão de 33 metros possui a mesma conformação e neste local, existe ainda, um ponto de travessia (pinguela), que dá acesso a famílias que moram próximas a margem esquerda do arroio.

Outro fator considerado para escolha de uma das técnicas de bioengenharia apresentadas neste estudo e possíveis de serem utilizadas na remediação das margens do arroio Tamanduá foi o cálculo da variável de *Striker*. Esta etapa é fundamental na escolha da técnica, pois relaciona a capacidade de transporte de seixos, conforme a vazão do recurso hídrico (BARROS, 2011).

Para determinação do Limite de transporte, foram utilizadas as equações 5 e 6, apresentadas anteriormente. Os dados coletados em campo para determinação desta variável foram: Largura total do leito, profundidade, tomadas de velocidade com Molinete Fluviométrico, altura média dos taludes em períodos de cheias máximas.

Salienta-se que os valores obtidos para velocidade, se relacionam ao cálculo da velocidade média da água, levando em consideração a cheia de maior magnitude, registrada no pilar da ponte. O coeficiente de Rugosidade de Manning utilizado foi de 0,026 (rios com seixos irregulares, mais grossos), e a inclinação do terreno no local de 0,03488 m/m (idêntico à declividade do leito principal). Desta forma, tornou-se possível manter a mesma relação para todos os pontos

considerados com maior incidência de erosão. Na **Tabela 12** a seguir, apresentam-se os parâmetros, equações e resultados.

Tabela 12. Resultados dos dados coletados e calculados.

Parâmetros	Equações	Resultados
Largura total (m)	X	6.25
Profundidade média em cheia máxima (m)	X	2,85
Profundidade média no período (m)	X	0,162
Perímetro molhado (m)	X	6.261
Área total no período (m ²)	X	0.569
Área total média em cheia máxima (m ²)	X	38.92
Largura máxima em período de cheia (m)	X	13,92
Raio Hidráulico (adimensional)	$R_H = \frac{A}{P}$	0.0909
Velocidade média (m/s)	$V = KR^{2/3}I^{1/5}$	2.5075
Limite de Transporte - DLT (m)	$b = \frac{V^2}{14}$	0.4491

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme se demonstrou na **Tabela 12**, a velocidade média de escoamento do arroio Tamanduá pode atingir máximas de 2,5 m/s, considerando o método da continuidade de Manning, exemplificado na Equação 5. A velocidade medida em campo através de molinete hidrométrico resultou em um valor médio 0,018 m/s no período de baixo escoamento, como aquele encontrado no ato da mensuração (sem precipitação nos últimos 15 dias).

A vazão média considerando a seção transversal de 0,569 m², medida durante a atividade de coleta de dados em campo e, para esta velocidade, corresponde há 0,102 m³/s. Este contexto reforça a hipótese de picos de cheia, quando comparado à velocidade máxima obtida anteriormente de 2,5 m/s, em eventos máximos de cheias. Além disso, ocorre um aumento significativo da seção transversal, que pode chegar a 38, 92 m² neste ponto.

O Limite de Transporte – DLT, considerando a velocidade máxima encontrada (2,5 m/s), resultou em um valor aproximado de 0,45 m. Significa dizer que, seixos menores do que essas dimensões podem ser transportados/arrastados, por eventos

semelhantes de cheias máximas ou de maior magnitude, na seção analisada (BARROS, 2011).

Este resultado foi corroborado na atividade prática, onde se verificou que rochas aproximadamente com essas dimensões (0,45 m), encontravam-se depositadas no leito do arroio Tamanduá. Devido à forma angulosa das extremidades dos matacões, não se acredita que tenha ocorrido transporte, indicando ser rochas da formação *in situ*, provavelmente, removidas das margens por erosão fluvial. Nas **Figuras 52 e 53**, demonstram-se rochas maiores no leito de corrente do arroio.

Figura 52 e Figura 53. Matacões disposto sobre o leito do arroio Tamanduá.



Fonte: Autor.

5.3.1 Técnica de Biorremediação a ser aplicada

Conforme apresentado no Referencial Teórico deste estudo, a execução de obras que utilizam a bioengenharia deve, segundo Venti (2003), atender a um único critério, sendo este, a utilização da menor quantidade de tecnologia para a intervenção no recurso hídrico.

Diante do cenário apresentado, a técnica que permite garantir a estabilidade dos taludes, cessar processos erosivos nos trechos apontados como prioridade, além de possibilitar a continuidade de tráfego nas vias vicinais próximas aos taludes, garantindo segurança e uma intervenção rápida é o Enrocamento ou RIPRAP. A

escolha pela metodologia ampara-se nos seguintes critérios, apresentados na **Tabela 13**.

Tabela 13. Critérios balizadores para escolha da metodologia.

Diagnóstico	Critérios Balizadores
<ul style="list-style-type: none"> Picos de vazão e de velocidade de escoamento do arroio; 	<ul style="list-style-type: none"> - Coeficiente de Compacidade; - Densidade de Drenagem (DD); - Coeficiente de Compacidade (Kc); - Fator de Forma (Kf); - Índice de Circularidade (Ic).
<ul style="list-style-type: none"> Taludes compostos por solo e seixos carreáveis; 	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidade média (m/s); - Limite de Transporte - DTL (m); - Características locais; - Trabalho de campo (mensuração); - Análise de Imagens de satélite e a verdade terrestre; - Registro fotográfico e interpretativo;
<ul style="list-style-type: none"> Inclinação dos taludes $\geq 90^\circ$; 	
<ul style="list-style-type: none"> Altura dos taludes; 	
<ul style="list-style-type: none"> Ângulo de atrito efetivo das correntes; 	
<ul style="list-style-type: none"> Ausência de vegetação nativa arbórea; 	<ul style="list-style-type: none"> - Menor intervenção; - Menor quantidade de tecnologia; (VENTI, 2003); - estabilidade de acessos vicinais.
<ul style="list-style-type: none"> Rápida aplicação, sem necessidade de remodelagem dos taludes. 	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

A constante ação erosiva junto as margens da Área 1, possibilita a proximidade cada vez maior da estrada vicinal de acesso ao Distrito de Tamanduá, podendo inclusive ocasionar acidentes no local, consequência esta que o município de Marques de Sousa se encontra inteirado.

Para remediar o local degradado, através de Enrocamento, será necessário em torno de 85 m³ de matacões, com dimensões $\geq 0,45$ m. Este resultado levou em consideração a altura do talude de 3,15 m, e uma angulação final 60°. Para base estima-se uma largura de 1,8 m, dimensão esta, que possibilita uma angulação final de 60°. O comprimento total estimado é de 30 m, obtendo-se assim o volume mencionado.

Na Área 2, para o dimensionamento do Enrocamento, considerou-se a altura do talude de 4,2 m e uma distância inclinada (5 m). Objetivando manter a mesma inclinação final do talude de rochas (60°), a base deverá possuir a dimensão de 2,7 m. A partir destas informações e da extensão da área degradada mensurada em 20 m, o volume estimado de matacões para a execução da obra é de 113,4 m³.

Na Área 2, o Enrocamento também proporcionará a redução na velocidade da água, frente ao ângulo de 90° de atrito com o talude. Consequentemente, a técnica favorecerá a retenção de sedimentos no local, fortalecendo a estrutura de bioengenharia.

Finalmente, na Área 3, manter-se-á a mesma técnica e padrões construtivos com angulação de 60° . Considerando a altura do talude neste trecho de 3,5 m, a base deverá possuir as dimensões de 2 m de largura. O comprimento total a ser remediado chega a 33 m, necessitando desta forma, aproximadamente 115,5 m³ de rochas para a execução desta obra.

Acredita-se que a técnica indicada seja efetiva, duradoura e garanta além da estabilidade dos taludes, da interrupção dos processos erosivos, também a suspensão de perdas de solos, riscos ao desmoronamento de estradas importantes e de residências próximas, evitando assim perdas econômicas e sociais.

5.4 Viabilidade de implantação de Obras de Bioengenharia

Após a conclusão da terceira etapa e integrando com o resultado das anteriores, se tornou possível sugerir a técnica de bioengenharia a ser aplicada nas respectivas margens degradadas, apontadas como de maior necessidade de intervenção segundo os critérios propostos, bem como dimensionar o tamanho das áreas a serem remediadas.

Neste contexto, Mattos (2006), enfatiza que a fase de quantificação dos serviços é de extrema importância na formulação de custos, pois havendo falha nesta etapa poderá ocorrer falta de recursos e consequentemente, inviabilizando ou até mesmo interrompendo a obra. Dando sequência a quarta e última etapa do

trabalho, foram consultadas 4 empresas, comercializadoras de materiais pertinentes aqueles utilizados em obras de bioengenharia, preferencialmente estabelecimentos regionais, considerando a redução de custos.

Após o levantamento realizado, conforme preconiza Goldman (2004), sobre a organização dos custos e controle de obras, obteve-se, antecipadamente, o valor dos custos de materiais, mão de obra e projetos, para a composição aproximada de um valor global, incluindo a execução da obra. Os dados são demonstrados na **Tabela 14**, considerando os materiais necessários para diversas técnicas de bioengenharia.

Tabela 14. Tabela de custos de materiais, equipamentos e mão de obra.

Material/Equipamento	Unidade	Valor Unitário (R\$)
Projeto Técnico	Un.	2.000,00
Matacões (rochas $\geq 0,45$ m)	m ³	46,00
Terra	m ³	18,75
Estacas de madeiras	Un	20
Tela Galvanizada	m ²	128
Estacas de arvores nativas	Unidade	1,40
Retroescavadeira/operador	Horas	90,00
Caminhão Transportador	Dia	230,00
Mão de obra	Horas	57,00

Fonte: Elaborado pelo Autor

A partir dos valores da **Tabela 14**, considerando a técnica proposta para a remediação e os dados de volumes necessários para a execução da obra, utilizando como exemplo a Área 1, com comprimento de 30 m, altura do talude de 3,15 m, inclinação atual do talude de 90° e inclinação final com o enrocamento de 60° (base com 2,5 m e topo com 0,50 m de largura), foram estimados os custos de implantação, apresentados na **Tabela 15**.

Tabela 15. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para Área 1.

Material/Equipamento	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Projeto Técnico	Unidade	1	2.000,00	2.000,00
Matacões (rochas $\geq 0,45$ m)	m ³	141,75	46,00	6.520,00
Terra	m ³	28	18,75	525,00
Maquina/Operador	Horas	12	90,00	1.080,00
Mão de obra (3 operários)	Horas	15	60,00	900,00
Total	R\$ 11.025,00			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na Área 2, foram estimados os valores utilizando como base as seguintes medidas: Comprimento 25 m, altura do talude 4,2 m, inclinação atual do talude de 90° e inclinação final com o enrocamento de 60° (base com 2,8 m e topo com 0,6 m de largura). O exemplo de custo estimado, a partir dessas dimensões encontram-se exemplificados na **Tabela 16**.

Tabela 16. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para Área 2.

Material/Equipamento	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Projeto Técnico	Unidade	1	2.000,00	2.000,00
Matacões (rochas $\geq 0,45$ m)	m ³	178,05	46,00	8.190,30
Terra	m ³	35	18,75	656,25
Maquina/Operador	Horas	15	90,00	1.350,00
Mão de obra (3 operários)	Horas	20	60,00	1.200,00
Total	R\$ 13.396,25			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para Área 3, as medidas *in loco* também diferem, sendo utilizados os seguintes dados para cálculo de volume: Comprimento 33 m, altura do talude 3,5 m, inclinação atual do talude de 90° e inclinação final com o enrocamento de 60° (base com 2,6 m e topo com 0,55 m de largura). Os custos resultantes são apresentados na **Tabela 17**.

Tabela 17. Custos de materiais, equipamentos e mão de obra para Área 3.

Material/Equipamento	Unidade	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Projeto Técnico	Unidade	1	2.000,00	2.000,00
Matacões (rochas $\geq 0,45$ m)	m ³	181,91	46,00	8.367,86
Terra	m ³	36,5	18,75	684,38
Maquina/Operador	Horas	20	90,00	1.800,00
Mão de obra (3 operários)	Horas	24	60,00	1.440,00
Total	R\$ 14.292,24			

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Analizando as Tabelas de custos, a remediação das três áreas somadas, totalizam aproximadamente R\$ 38.713,49. Porém, tratando-se de uma técnica definitiva de engenharia, os custos são inferiores, por exemplo, ao orçamento Ref.: C3A2-06807-2017, fornecido ao município de Marques de Souza, pela empresa Maccaferri *Engineering a Beter Solutions*, para contenção dos taludes no sistema de Gabiões.

O valor total, segundo o orçamento, somente para Área A, totalizou, R\$ 46.593,61 em materiais e projetos, excluídos seixos do tipo rachão e mão de obra. Ou seja, além da remediação de três pontos fundamentais de degradação, o valor total ficaria aproximadamente 40% inferior ao orçado para um único trecho.

Conforme demonstrado ainda nas tabelas de custos, o valor das rochas para esta finalidade representa os maiores custos. Contudo, em parte, os seixos podem ser encontrados naturalmente no próprio leito do arroio Tamanduá ou ainda obtidos nas próprias áreas de extração do município. Outra possibilidade que poderá auxiliar

na redução de custos é a utilização de maquinário e mão-de-obra da própria administração municipal, reduzindo desta forma em cerca de 80% os custos estimados.

Este resultado, reforça uma vez mais, a técnica de enrocamento, como a mais adequada para remediação das áreas críticas do arroio Tamanduá, levantadas neste estudo, já que o custo pode ser considerado relativamente baixo, se houver ação da municipalidade. Além disso, a técnica garante a manutenção das condições ambientais atuais, sem drásticas alterações na conformação atual dos trechos de intervenção.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do estudo através dos objetivos propostos, iniciando pela avaliação morfológica da Bacia Hidrográfica do Arroio Tamanduá, resultou em um conjunto de dados consistentes, que favorecem um melhor entendimento, no que diz respeito, à atuação das características fisiográficas e as consequências do comportamento hidrológico sobre as margens erodidas.

A avaliação morfológica, serviu ainda, de base para delinear as etapas posteriores, pois possibilitou aprimorar a percepção do funcionamento do regime hidrológico deste recurso hídrico, servindo de indicativo para a caracterização de processos erosivos resultantes do comportamento hídrico e da intervenção antrópica.

O conhecimento de técnicas de bioengenharia de solos, antes das práticas de campo, foi outra etapa essencial e indispensável, pois possibilitou conhecer as diversas metodologias e aplicações, favorecendo significativamente a escolha da forma de remediação das margens erodidas, frente ao diagnóstico local.

O conjunto de dados morfológicos, o conhecimento de técnicas de bioengenharia, o diagnóstico local e a avaliação de custos, possibilitaram embasar a escolha da técnica do enrocamento para remediação das margens do arroio Tamanduá, atingidas por erosão hídrica, conforme a metodologia e os critérios propostos e aplicados.

No contexto geral do estudo desenvolvido, acredita-se ser importante a abordagem dos objetivos sugeridos, pois a definição de qual técnica deve ser

utilizada para remediação de margens atingidas por erosão hídrica, deverá considerar um conjunto de critérios, optando assim, por uma proposta que ofereça ganhos sociais, econômicos e ambientais.

E estudo buscou apresentar implicações práticas para avaliação e implantação de remediação de margens erodidas. Porém, sugere-se para trabalhos futuros, conhecer o comportamento hidrológico, relacionando a degradação de margens com a ocupação antrópica e os usos e ocupação do solo, fatores que demonstraram estar relacionados aos avanços erosivos, nas margens do Arroio Tamanduá.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, Hollis H.; LEECH, James R. **Bioengineering for Streambank Erosion Control, Report 1: Guidelines**. Us Army Corps of Engineers – Waterways Experiment Station. Technical Report, 1997. P. 105.
- ALVES, R.R **Monitoramento dos processos erosivos e da dinâmica hidrológica e de sedimentos de uma voçoroca: estudo de caso na Fazenda Glória na zona rural de Uberlândia-MG**. Dissertação de Mestrado. Instituto de Geografia, 2007.
- ARAUJO, Gustavo, Henrique de Sousa; ALMEIDA, Josimar Ribeiro de; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- ARAÚJO, L. E., SOUSA, A. S. S, NETO, J. M M., SOUTO, J. S., REINALDO, L. R. **Impactos ambientais em bacias hidrográficas – Caso da Bacia do Rio Paraíba**. Sistema Eletrônico de Revistas – UEPB, 2009.
- AULITZKY, H.; FIEBIGER, G. U.; DIERA, N. **Grundlagen der Wildbach und Lawinenverbauung: Voläufige Studienblätter**. Wien: Institut für Wildbach und Lawinenverbauung. Universität für Bodenkultur, 1990.
- BACKER Morton; JACOBSEN Lyle E. **Contabilidade de Custos**. São Paulo/Rio de Janeiro: Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1972. 410 p.
- BANDINI, A. **Hidráulica fluvial**. São Paulo: Serviço de Publicações da Escola de Engenharia de São Carlos, 1958.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; LARA Pinto Coelho, Márcia Maria. **Fundamentos de Engenharia Hidráulica**. 3 ed. rev. e ampl. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 480p.

BARRO, Esmael. Estudo de caso: **Estabilização Biotécnica No Rio Taquari Em Estrela – RS**. 2011. 46 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

BERTONI, J. E. de A.; MARTINS, F. R. **Composição Florística De Uma Florestaripária Na Reserva Estadual De Porto Ferreira, SP**. Acta Botânica Brasília, São Carlos, v. 1, n. 1, p. 17-26, jan./abr. 1987.

BIGERELLA, João J. **Estrutura E Origem Das Paisagens Tropicais E Subtropicais**. Florianópolis: Editora UFSC v.3, 2003. p. 877-1436.

BITAR, Omar Yazbek; IYOMASA, Wilson Shoji; CABRAL JR., Marsis. **Geotecnologia: Tendências E Desafios**. São Paulo Perspec. [online]. 200, vol.14, n.3, p. 78-90. ISSN 0102-8839. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010288392000000300012&script=sci_arttext>. Acesso em 08 out. 2017.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: <<http://aiba.org.br/wp-content/uploads/2014/10/Lei-12727-2012-Codigo-florestal.pdf>>. Acesso em: 10 de maio. 2018a.

BRASIL. **Lei Federal nº 4.803, de 18 de julho de 1989**. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L7803.htm> . Acesso em: 30 ago. 2017.

BRASIL. **Lei Federal nº. 12.727, de 17 de outubro de 2012**. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa: altera as Leis nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12727.htm>. Acesso em: 31 ago. 2017.

BRESSIANI, Jaciane; SCHMIDT, Marcio. **Proposta de uso das áreas variáveis de afluição como área de preservação permanente.**

BRIGHETTI, G. e MARTINS, J. R. S. **Estabilização e proteção de margens – PHD 5023 – Obras hidráulicas.** São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Hidráulica e sanitária, 2001. 73 p.

CAMPBELL, S. D. G.; SHAW, R; WONG, J. C. F. **Guidelines For Soil Bioengineering Applications on Natural Terrain Landslide Scars.** Geo Report Nº 227. Geotechnical Engineering Office Civil Engineering and Development Department the Government of the Hong Kong Special Administrative Region. 2008.

CAMPOS, G. **Mapa Florestal.** Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, Serviço geológico e mineralógico do Brasil. Rio de Janeiro: Typ. Da Diretoria do Serviço de Estatística, 1912.

CARVALHO, Celso Santos; GALVÃO, Thiago (orgs). **Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia Para Elaboração De Políticas Municipais.** Ministério das Cidades: Cities Alliance, 2006. 111 p.

CARVALHO, P. E. R. **Técnicas de Recuperação e Manejo de Áreas Degradadas.**In: GALVÃO, A. P. M. Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Brasília:Embrapa Florestas, 2000. cap. 14, p. 251-268.

CARVALHO, D. F; SILVA, L.D.B. **Hidrologia.** 2006.

CECONI, Denise Ester. **Diagnóstico e Recuperação Da Mata Ciliar Da Sanga Lagoão Do Ouro Na Microbacia Hidrográfica Do Vacacaí-Mirim, Santa Maria – RS.** 2010. 132 f. Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 2010.

CHAVES, Adilar. **Importância da mata ciliar (Legislação) na proteção dos recursos hídricos, alternativas para sua viabilização em pequenas propriedades rurais.** Passo Fundo, RS : [s. n., 2009. 19 f.

CHECCHIA, Tatiane. **Influência da zona ripária sobre os recursos hídricos: aspectos quantitativos e qualitativos**. In: I Seminário de Hidrologia Florestal: Zonas Ripárias, Alfredo Wagner. p. 87-101.

CHRISTOFOLETTI, 1974, 1981). (CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edusp, 1974. **Geomorfologia fluvial: o canal fluvial**. São Paulo: Edusp, 1974

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgar BlucherLtda, 1980. 188 p.

COUTO, L.; GONÇALVES, W.; COELHO, A. T.; PAULA, C. C. **Técnicas de bioengenharia para revegetação de taludes no Brasil**. Viçosa – Minas Gerais, 2010.

CUNHA, S.B. **Geomorfologia fluvial**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. P. 211-252.

DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. **Análise crítica dos programas de recomposição de matas ciliares, em Minas Gerais**. In: SIMPÓSIO MATACILAR CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 1999, Belo Horizonte. Anais... Lavras:UFLA/FAEPE/CEMIG, 1999. p. 172-188.

DELITTI, W. B. C. **Ciclagem de nutrientes minerais em matas ciliares**. In:SIMPÓSIO SOBRE MATA CILIAR, 1989, São Paulo. Anais... São Paulo:Fundação Cargill, 1989. p. 88-98.

DIAS, Paulo Roberto Vilela. **Engenharia de Custos: Uma metodologia de Orçamento para Obras Civis**. 6. ed. Rio de Janeiro: Hoffmann, 2006. 215 p.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria-RS. 2002.

DURLO, Miguel. Antão: SUTILI, Fabrício Jaques. **Bioengenharia: Manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre: EST Edições. 2005 189p.

ESTRATÉGIAS PARA A RECUPERAÇÃO DA VEGETAÇÃO NO ENTORNO DE NASCENTES (DANIEL FIGUEIREDO VILELA, 2006, LAVRAS MINAS GERAIS, 2006)

FELKEL, K. **Gemessene Abflüsse in Gerinnen mit Weidenbewuchs**. Helf 15, Karlsruhe, Mitt. Bundesanstalt für Wasserbau, 1960.

FERNANDES, Nelson F; AMARAL, Cláudio P. do. **Movimentos de Massa: uma abordagem geológica-geomorfológica**. In: GUERRA, Antônio T. & CUNHA, Sandra B. da. Geomorfologia e meio ambiente. 3. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000. p. 123-194.

FERNANDES, J.P., FREITAS, A., (2011). “Introdução à Engenharia Natural”. Volume II. Universidade de Évora.

FERREIRA, C. W.; LIMA, C. S.; CAVALCANTI, L. C.; SANTOS, A. H. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude cachoeira II, no município de Serra Talhada – PE, Brasil**. 2010.

FERREIRA, Everaldo; BOTH, Graziela. **Aspectos hidrológicos na degradação das zonas ripárias no Rio Taquari/RS**. In: STROHSCHOEN, Andréia A. G.; REMPEL, Claudete. Reflorestamento e Recuperação Ambiental: Ambiente e Tecnologia: o desenvolvimento sustentável. Lajeado: Univates, 2005. P. 27-35.

FISRWG. **Stream Corridor Restoration: principles, processes, and practices**. By the Federal Interagency Stream Restoration Working Group (FISRWG). 15º Federal Agencies of the US gov't, 1998.

FLORENZANO, Teresa Galloti, (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. 318p.

FLORINETH, F. **Ingenieurbilogische Maßnahmen bei Fließgewässern in Südtirol**. In: Ökologie von Fließgewässern – Ingenieurbilogische. Fonte: <Adaptado de <www.ga.gov.au/hazards/landslide/landslide-basics/bauses.html>. Acesso em: 27 ago. 2017. Fonte: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/ead/riscos/risco11a.html>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

FREITAS, Aldo Renato Mendes. **Proposta de requalificação biofísica e paisagística de um talude num percurso do Parque Nacional do Vesúvio com técnicas de Engenharia Biofísica**. 2006. 95 f. Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Biofísica, Universidade de Évora, Itália, 2006.

GERSTGRASER, C. H. **Ingenieurbilogische**. Wien: Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbilogie. Universität für Bodenkultur, 2000.

GOLDMAN, Pedrinho. **Introdução ao Planejamento e Controle de Custos na Construção Civil Brasileira**. 4. ed. São Paulo: Pini, 2004. 176 p.

GOMES, Luviana G. Nery. **A bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do rio São Francisco**. 2005. 118 f. Dissertação (Mestrado)– Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), São Cristóvão, 2005.

GRAY, D. H.; LEISER, A.T. **Biotechnical slope protection and erosion control**. Florida: Krieger Publishing Company Malabar, 1982.

GUIDICINI, Guido; nieble, Carlos Manoel. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. 194 p.

HARPER, K. T.; SANDERSON, S. C.; McARTHUR, E. D. **Riparian ecology in tion national park, Utah**. USDA. Forest service. International General Technical Report, n. 298, p. 32-42, 1992.

HASENACK, H.; WEBER, E. (orgs.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia. 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

HOAG, Chris; FRIPP, Jon. **Streambank Soil Bioengineering Field Guide for Low Precipitation Areas**. USDA-NRCS Plant Material Center, Aberdeen, 2002.

HOLANDA, F. S. R.; RESENDE, ROCHA, I. P.; OLIVEIRA, V. S. **Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco**. Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental, v. 12, n. 6, p. 570-575, 2008. Disponível em <http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-ndiaria/regularizacao-fundiaria/indices-cadastrais/indices_basicos_2013_por_municipio.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2017

LEINZ, V.; AMARAL, S. E. **Geologia geral**. 7. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

LI, Ming-Han; EDDLEMAN, Karen E. **Biotechnical engineering as na alternative to traditional engineering methods: a biotechnical streambank stabilization design approach**. Landscape and Urban Plann 60, Issue 4, 2002. P. 225-242.

Disponível em : <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01692046/60>>
Acesso em: 24. set. 2017.

LI, Ming-Han; EDDLEMAN, Karen E. **Biotechnical engineering as an alternative to traditional engineering methods: a biotechnical streambank stabilization design approach**. Landscape and Urban Planning 60, Issue 4, 2002. P. 225-242.
Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/journal/01692046/60?sdsc=1>>.
Acesso em: 16 set. 2017.

LIMA, Maria do Socorro Bezerra de. **Movimentos de Massa nos barrancos do Rio Acre e implicações socioeconômicas na área urbana de Rio Branco – Acre**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

LIMA, W. de P. **Função hidrológica da mata ciliar**. In: SIMPÓSIO SOBREMATAS CILIARES, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1989.

MAGALHÃES, Regiane Campos; OLIVEIRA, Ercivan Gomes de; ALBUQUERQUE, Adoréa Rebello da Cunha; AQUINO, Raimundo Nonato de Abreu. **Análise Geográfica Sobre Erosão de margens e movimentos de massa na comunidade do Divino E. Santo – AM (Brasil)**. Revista Geográfica de América Central. Vol 2, Nº 47E, 2011. Disponível em <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografia/article/view/2586>>. Acesso em 22. Agosto. 2017

MANDAL, J. N.; **Promotion and use of jute geotextile in civil engineering**. Indian Textile Journal, v. 104, n. 9, p. 18-26, 1994.

MARTINS, S. V.; DIAS, H. C. T. **Importância das florestas para a quantidade e qualidade da água**. Ação Ambiental, Viçosa, v. 4, n. 20, p. 14-16, out./nov.2001.

MARTINS, Sebastião V. **Recuperação de matas ciliares**. 2. ed. Revista e ampliada. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2007. 255p.

MASTELLA, A. D. F. **Recuperação experimental de um trecho de curso de água com técnicas de engenharia natural**. Dissertação de Mestrado, Santa Maria/RS. 2012.

MATTOS, Aldo Dórea. **Como Preparar Orçamentos de Obras**. 4. ed. São Paulo, 2006. 281 p.

MICKOVSKI, S. B.; VAN BEEK, L. P. H. **Root morphology and effects on slope stability of young vetiver (*Vetiveria zizanioides*) plants grown in semi-arid climate.** *Plant and Soil*, Crawley, Au, v.324, p.43-56, 2009.

MICKOVSKI, S. B.; VAN BEEK, L. P. H.; SALIN, F. **Uprooting of vetiver uprooting resistance of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*).** *Plant and Soil*, UK, n. 278, p. 33-41, 2005.

MORAIS, M.M., PEDRO, A. e ROSADO, J. Rios temporários: do excesso à escassez. Universidade de Évora. Portugal. 2009.

MORGAN, R. P. C.; RICKSON, R. J. **Slope Stabilization and Erosion Control: a bioengineering approach.** London: E&FN Spon, 1995.

NETO, A. F. P. **Aplicação de técnicas alternativas para recuperação de foco erosivo em área rural situada no município de Álvares Machado – SP.** 2012. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Guaratinguetá, 2012. Disponível em: <http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/tcc/beg/19386/2012/pereiraneto_af_tcc_guara.pdf> Acesso em: 02 out. 2017.

NETTO, A. L. C. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. P. 93-148.

NETTO, A.; ALVAREZ, G. A. **Manual de hidráulica.** 7. Ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1982. v. 2.

PASSOS, M. J. **Estrutura de vegetação arbórea e regeneração natural em remanescentes de mata ciliar no Rio Mogi/Guaçu, SP.** 1998. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PHIEN, T.; TAM, T. T. **Vetiver grass in hedgerow farming systems on sloping lands in Vietnam.** National Institute for Soils and Fertilizers, p. 265-269, 2007.

PINTO, R.C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. **Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa.** *Geoiंगा*: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Maringá, v. 5, n. 1,

p. 102-124, 2013. Disponível em: <<http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/view/20426>>. Acesso em: 12 setembro 2017.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Editores Alexandre Schiavetti, Antonio F. M. Camargo. – Ilhéus, Ba : Editus, 2002. p. 261-291.

PMI – Project Management Institute. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos** (Guia PMBOK). 4 .ed. Estados Unidos: PMI, 2009. 386 p.

RACIN, J. A.; HOOVER, T. P.; AVILA, C. M. C. **California bank and shore rock slope protection design**. Califórnia: California Department of Transportation, 2000. 109 p.

REIS, Patrícia Elizamma. **O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011.

RIBEIRO, L. F. **Alterações da paisagem em margens de cursos d'água: os casos dos rios São Francisco e Paramopama, Sergipe**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistema). Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria Estadual do Meio Ambiental. Diretrizes ambientais para restauração de matas ciliares/Secretaria Estadual do Meio Ambiente. Departamento de Florestas e Áreas Protegidas. POA, SEMA, 2007. Disponível em: < <http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201612/20145948-diretrizes-restauracao-matasciliares.pdf>>. Acessado em 29 ago. 2017.

ROCHA, O.; PIRES, J. S. R. & SANTOS, J. E. **A Bacia Hidrográfica como unidade de estudo e planejamento**. Cap 1: 1-16, In: Espíndola, E. L. G.; SILVA, J. S. V.; MARINELLI, C. E. & ABDON, M. M. (Orgs). A Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho. Rima. São Carlos, 2000.

SALVADOR, J. L. G. **Considerações sobre matas ciliares e a implantação de reflorestamentos mistos nas margens de rios e reservatórios**. São Paulo: CESP, 1987.

SANGALLI, P. **Técnicas de ingeniería biológica utilizadas en La restauración fluvial**. In: ARIZPE, D.; MENDES, A.; RABAÇA, J. E. Áreas de ribera sostenibles: una guía para su gestión. p. 192 – 197. (2008). Disponível em: <<http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=71596&idioma=V>>. Acesso em: 13 out. 2017.

SANGALLI, P. 2009. “Técnicas de Engenharia Biofísica utilizadas no restauro de rios. In “zonas Ribeirinhas sustentáveis – Um guia de gestão. ISA Press.

SANTOS, Agenor; TARGA, Marcelo; BATISTA, Getúlio; DIAS, Nelson. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas** Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. 2012.

SAWYER, K. E. **Landscape studies; na introduction to geomorphology**. London: Edward Arnold, 1975.

SCHUMM, S. A. **River morphology**. Pennsylvania: DH&R, 1972.

SILVA, D. J. B. V. **Avaliação de Métodos de Baixo Custo Para a Proteção em Estradas Rurais Não-Pavimentadas**. 2009. 71f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2009. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/98048/silva_djbv_me_ilha.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. (Org). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora Universidade: ABRH: Edusp, 1993.

SOUSA, E. B. **Fotointerpretação da rede de drenagem na diferenciação de unidades de mapeamento de solos ocorrentes na Depressão Central do Rio Grande do Sul**. 1977. Dissertação (Mestrado em Engenharia Rural) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1977.

SUTILI, Fabrício J. **Manejo biotécnico do arroio Guarda-Mor: princípios, processos e práticas**. 2004. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

TEIXEIRA, M. D. M. **Influência dos parâmetros geomorfológicos e hidráulicos na navegabilidade fluvial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte). Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2006. 199 p.

TEODORO, Valter L. I. et al. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica local**. REVISTA UNIARA, n. 20, 2007.

THIÉRI, E. **Restauration des montagnes**. Correction des torrents. Paris: Reboisements, 1891. STRELA, G. Grundriß der Wildbachverbauung. Wien, 1934.

TOMONAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair, AMARAL, Rosangela do (orgs.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

TRUONG, P. N. V.; LOCH, R. **Vetiver System for erosion and sediment control**. In: 13ª International Soil Conservation Organisation Conference, 2004, Brisbane. Proceedings...Brisbane, 2004.

TRUONG, P. **Vetiver grass technology**. In: MAFFEI, M. Vetiveria the Genus Vetiveria. New York: Taylor e Francis, 2002.

TUCCI, Carlos, E. M; MENDES, C. A. **Curso de Avaliação Ambiental Integrada de Bacia. Ministério do Meio Ambiente – Secretaria de Qualidade Ambiental – Rhama Consultoria Ambiental** 2006.

VENTI, Donatella; BAZURRO, Federico, PALMERI, Fabio; UFFREDUZZI, Tonino; VENANZONI, Roberto; GIBELLI, Gioia. **Manuale Tecnico do Ingegneria Naturalistica dela di Terni. Servizio Assetto Del Territorio – Ufficio Urbanistica**, Terni Itália, 2003.

WEINMEISTER, H. W. **Vorlesung Wildbachkunde: Skriptum, vorläufige Ausgabe**. Wien: Institut für Wildbach und Lawinenschutz. Universität für Bodenkultur, 1994

WOLLE, C. M. **Mecanismos de estabilização de encostas na Serra do Mar..** In: ENCONTRO TÉCNICO – ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1988, São Paulo. Anais...São Paulo: ABMS; 1988. P. 16-36.